

# system erde

2002 - jahr der geowissenschaften



**planeterde**®  
2002 jahr der geowissenschaften

# 2002 – jahr der geowissenschaften

# Inhalt



**Edelgard Bulmahn**  
Bundesministerin für  
Bildung und Forschung



Das brodelnde Feuer eines Vulkans, die klirrende Kälte polarer Eiswüsten, driftende Kontinente und die Untersuchung von Gesteinen auf dem Mars – all diese Bilder transportieren ein Stück von der Faszination geowissenschaftlicher Forschung. Doch Geowissenschaften sind mehr als Forschung am Extremen.

Geowissenschaftlerinnen und Geowissenschaftler erkunden die inneren Zusammenhänge des empfindlich aufeinander abgestimmten „Systems Erde“, die Geosphäre, die Hydrosphäre, die Biosphäre und die Atmosphäre. Sie entschlüsseln gefrorene „Klimaarchive“ vergangener Zeiten im Eis der Polarkappen, messen die Bewegungen des festen Bodens unter unseren Füßen und auf dem Meeresboden, analysieren Klimaentwicklungen oder betrachten interplanetare Vorgänge im Weltraum. Die Ergebnisse dieser Forschung sind nicht selten von immenser Bedeutung: Der Schutz vor Naturkatastrophen ist hier ebenso zu nennen wie die nachhaltige Nutzung unserer endlichen Ressourcen. Geowissenschaften sind notwendig in einer Gesellschaft, die darauf bedacht sein muss, unsere Erde auch zukünftigen Generationen zu erhalten.

Damit die spannenden Ergebnisse einer breiten Öffentlichkeit zugänglich werden und gemeinsam mit der Wissenschaft – auf gleicher Augenhöhe – diskutiert werden können, ist ein intensiver Dialog notwendig. Gemeinsam mit dem Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft und den großen Forschungsorganisationen habe ich 1999 die Initiative „Wissenschaft im Dialog (WiD)“ gestartet. Damit wollen wir den Dialog zwischen Wissenschaftlern und interessierten Menschen aller Altersgruppen fördern. Hierzu werden in jedem Jahr

besondere Wissensgebiete in den Vordergrund gestellt. 2000 war das „Jahr der Physik“, 2001 das „Jahr der Lebenswissenschaften“, 2002 ist das „Jahr der Geowissenschaften“ und im Jahr 2003 folgt das „Jahr der Chemie“.

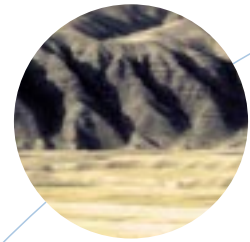
Um die vielschichtigen Themen geowissenschaftlicher Forschung auf spannende und auch kontroverse Weise anschaulich zu machen, bieten wir eine Plattform für intensive Dialoge an. Das BMBF wird gemeinsam mit WiD im „Jahr der Geowissenschaften“ unter dem Motto „planet erde“ für interessante Diskussionen und fundierte Informationen vier Zentralveranstaltungen in Berlin, Leipzig, Köln und Bremen durchführen. Eine Reihe weiterer Großveranstaltungen sowie zahlreiche regionale Veranstaltungen werden von Forschungsorganisationen, Universitäten, Museen, Verbänden und anderen Einrichtungen getragen. Sie befassen sich mit dem gesamten Spektrum der modernen geowissenschaftlichen Forschung, aufgeteilt nach den Themen Erde, Luft, Feuer und Wasser.

Im „Jahr der Geowissenschaften“ verlassen Forscherinnen und Forscher Ihre Institute und Labors und präsentieren ihre Wissenschaft öffentlich und diskutieren mit dem Publikum über ihre Forschungsprojekte. Was leistet moderne geowissenschaftliche Forschung für ein besseres Verständnis unseres Planeten? Welche Beiträge liefern die Geowissenschaften zu Fragen nach den Grenzen und der Belastbarkeit des Systems Erde? 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 Geowissenschaften!

*E. Bulmahn*

- 04. Kalender
- 05. Einleitung
- 06. Feuer
- 10. Erde
- 14. Wasser
- 18. Luft
- 22. Das Klima-Rätsel
- 26. Leben mit der Erde
- 27. Impressum, Bildnachweis
- 28. Geowissenschaften im Internet

16. - 20. Januar 2002  
Berlin  
Urania & Europa-Center



## system erde

# system erde

17. - 21. April  
Leipzig  
Hauptbahnhof



## luft

22. April  
Bundesweit

○ **Tag der Erde**  
Veranstalter: Alfred-Wegener-Stiftung (AWS)

5. - 9. Juni  
Bremerhaven

○ **Eis und Meer**  
Veranstalter: Stiftung Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI)

5. - 9. Juni  
Köln  
Neumarkt



## feuer

20. - 22. Juni  
Hannover

○ **All you need is... Steine, Wasser, Boden**  
Veranstalter: GEOZENTRUM HANNOVER  
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR),  
Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung (NLFb),  
Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA)

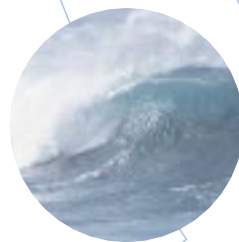
27. - 29. Juni  
Postdam

○ **Wann kommt die nächste Eiszeit**  
Veranstalter: GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ);  
Postdam Institut für Klimafolgenforschung (PIK); Stiftung Alfred-  
Wegener-Institut (AWI); Astrophysikalisches Institut Potsdam (AIP);  
Inst. für Meteorologie der Freien Universität Berlin;  
Universität Potsdam

Juli 2002  
München

○ **Fernerkundung**  
Veranstalter: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR),  
TU München, Ludwig-Maximilians-Universität München

22. - 28. August  
Bremen  
Wissenschafts-  
sommer



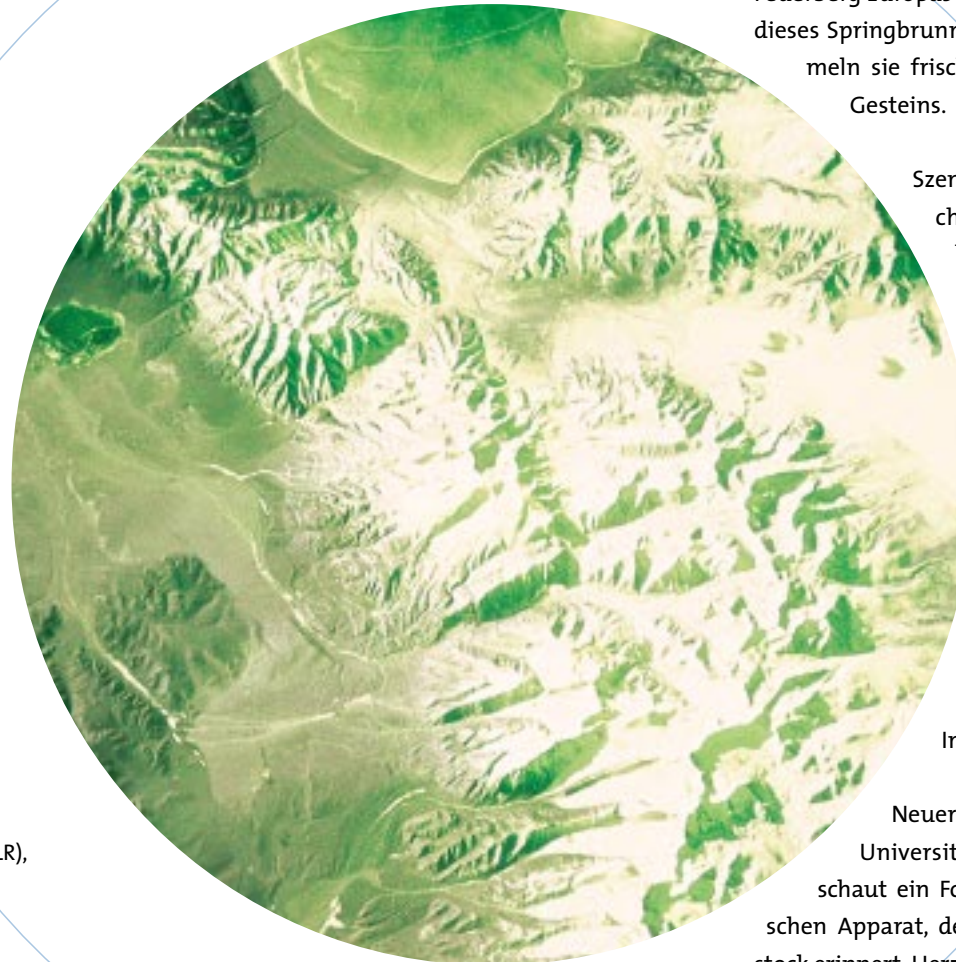
## wasser

11. - 15. September  
Berlin

○ **Welt des Wassers**  
Veranstalter: Forschungsmarkt Berlin

6. Oktober  
Bundesweit

○ **Tag des Geotops**  
Veranstalter: Deutsche Geologische Gesellschaft (DGG);  
Deutsche Paläontologische Gesellschaft



Sizilien, Sommer 2001: Am 17. Juli bricht der Ätna aus. Flüssige Lavafetzen schießen mehrere Dutzend Meter hoch aus einer neuen Spalte an der Südost-Flanke des gut 3.300 Meter hohen Vulkans. Noch am selben Tag sind Vulkanforscher am höchsten Feuerberg Europas versammelt. Ganz in der Nähe dieses Springbrunnens aus glühender Lava sammeln sie frische Proben des noch warmen Gesteins.

Szenenwechsel auf 70 Grad südlicher Breite: In der Antarktis herrscht tiefste Polarnacht, über der ins Eis gebauten deutschen Polarstation Neumayer tobt ein dichter Schneesturm. Die Sichtweite tendiert gegen Null. Schritt für Schritt tasten sich Geophysiker zu einem vollständig aus Holz errichteten Gebäude, in dem die magnetischen Messgeräte der Station untergebracht sind. Ihr Routinejob: eines der Instrumente zu reparieren.

Neuer Schauplatz: Ein Labor in einer Universität. Mit einem Mikroskop schaut ein Forscher durch einen mechanischen Apparat, der an einen kleinen Schraubstock erinnert. Herzstück der Apparatur sind zwei Diamanten, zwischen denen eine Mineralprobe zusammengedrückt wird. Gleichsam wie durch ein Fenster ins Erdinnere kann so der Forscher Minerale zwischen den Diamanten unter höchsten Drücken untersuchen.

Kaum ein anderer Zweig naturwissenschaftlicher Forschung ist so vielseitig wie die Wissenschaft von der Erde. Das Forschungsgebiet der Geowissenschaftler reicht vom innersten Erdkern 6371 Kilometer tief unter unseren Füßen bis in die höchsten

Schichten der Atmosphäre einige tausend Kilometer weit in den Weltraum hinaus. Von den Meeresströmungen im Atlantik bis zu den Packeisgürteln der Polarmeere, vom Altiplano in den Anden bis zum „Toten Meer“ im Nahen Osten – die Erdforscher sind zu allen Jahreszeiten auf allen Kontinenten tätig.

Wer sich moderne Geowissenschaftler als weltfremde Typen vorstellt, die mit ihrem Hammer jeden Stein beklopfen, liegt falsch. Ausgerüstet mit einer gehörigen Portion geowissenschaftlichen Fachwissens müssen sie sowohl in der Lage sein, auf Expeditionen hochempfindliche Messinstrumente zu betreiben, als auch deren Messergebnisse im Labor mit modernsten Computerprogrammen auszuwerten.

Berufsbild und Forschungsschwerpunkte der Geowissenschaftler haben sich im Laufe der Jahrzehnte immer wieder stark verändert. Und auch ihr Untersuchungsgegenstand, der Blaue Planet, ist keineswegs starr und statisch – vielmehr ist auf ihm alles in dauernder Bewegung, selbst das feste Gestein. So wie Inseln im Wattenmeer im ewigen Hin und Her der Gezeiten entstehen und wieder vergehen, wachsen auch die Gebirge – nur um in Jahrmillionen von der Erosion wieder abgetragen zu werden. Die Lava eines Vulkanausbruchs kann akut Dörfer und Felder bedrohen, in einigen Jahren aber wieder zu fruchtbarem Boden führen.

Die Erde ist wie ein empfindliches Getriebe, in dem ein Zahnrad stets in ein anderes greift – alle natürlichen Vorgänge auf unserem Heimatplaneten hängen in irgendeiner Form miteinander zusammen. Mit seinen Gebirgen und Flüssen, mit seinem Klima und den Meeren, mit Wüsten, Gletschern und Vulkanen ist er ein komplexes System. Die Geowissenschaftler sind dabei, dieses „System Erde“ zu entschlüsseln.

# feuer

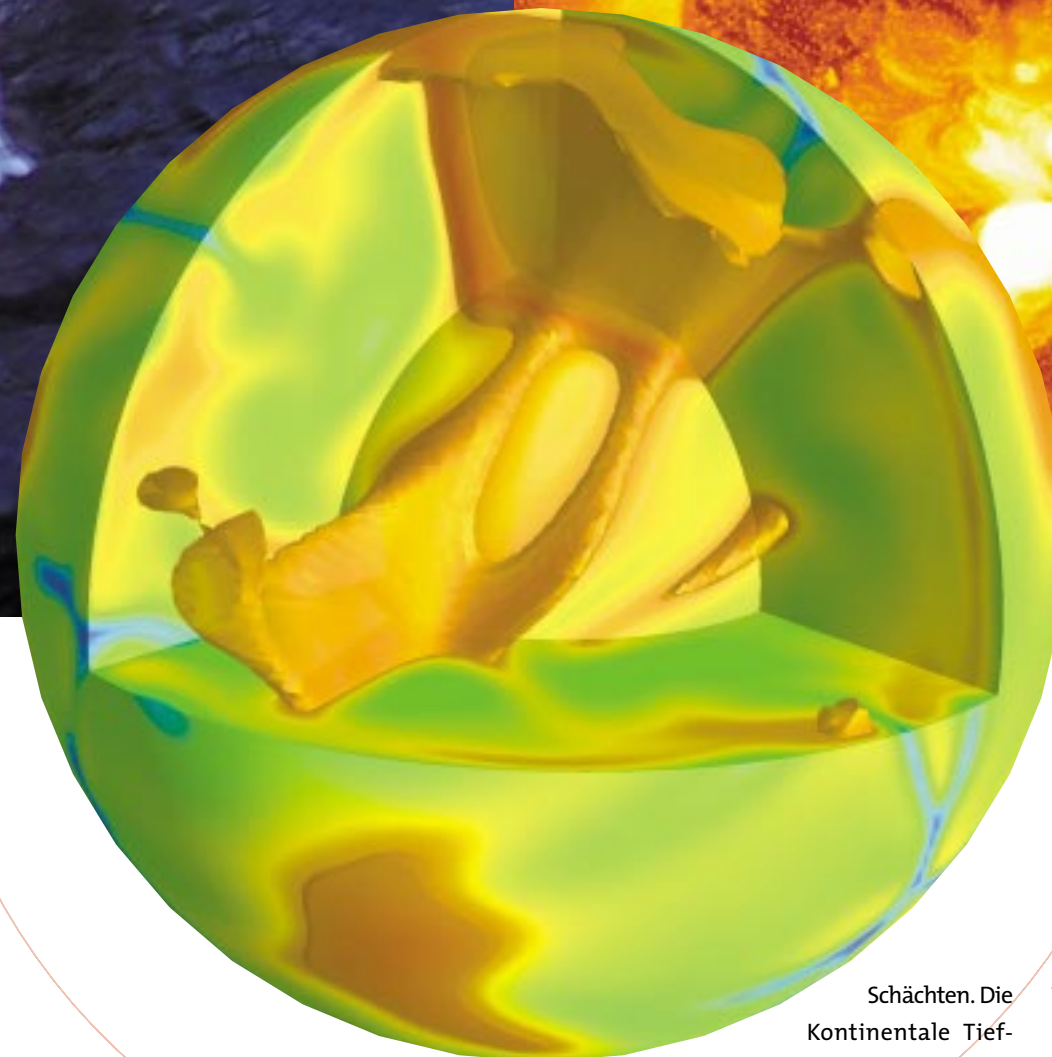
Die Entnahme von Lava-Proben am Vulkan Kilauea auf Hawaii. Die Zusammensetzung der Schmelze und der Gasgehalt verraten, wie gefährlich der Vulkan ist.

Kilauea auf Hawaii ist eher ein gutmütiger Typ. Nur sehr langsam schiebt sich sein Lavaström den Hang hinab, außen schon an vielen Stellen hart und verkrustet. Im Inneren dieses zähen Breis aber glüht das geschmolzene Gestein noch orangerot, und auch, wenn es Stunden dauert, bis sich die Lavafont um hundert Meter abwärts gewälzt hat – aufhalten kann sie keiner. Doch können die Menschen ihr ohne Eile ausweichen, und so kommt fast nie jemand zu Schaden.

Von wesentlich aufbrausenderem Charakter ist dagegen der Vulkan Pinatubo auf den Philippinen. Bricht er aus, schießt heißes, pulverisiertes Gestein mit Geschwindigkeiten von mehr als 200 Kilometern pro Stunde aus dem Vulkanschlot. Etliche Kubikkilometer Material werden so innerhalb von

wenigen Stunden ausgestoßen. Der feine Staub dringt 30 Kilometer hoch in die Stratosphäre ein – mit verheerenden Folgen für Pflanzen, Tiere und auch die in der Nähe des Vulkans lebenden Menschen.

Ob langsamer, geradezu sanfter Lavafluss auf Hawaii oder die röhrend explosive Eruption auf den Philippinen: Die Ursache für jede vulkanische Tätigkeit ist das Feuer im Inneren der Erde. Jeder, der einmal in ein Bergwerk eingefahren ist, hat gespürt, dass es umso wärmer wird, je tiefer man gelangt. Die Temperatur in der Erdkruste nimmt alle hundert Meter um etwa 3 Grad zu. Die Bergleute in den 1200 Meter tiefen Kohlegruben nördlich der Ruhr wären Temperaturen von 50 Grad ausgesetzt, gäbe es keine Frischluftzufuhr in den



Schächten. Die kontinentale Tiefbohrung in der Oberpfalz – eines der tiefsten Bohrlöcher der Welt – reicht 9 Kilometer weit nach unten. Dort ist es dann schon 270 Grad heiss.

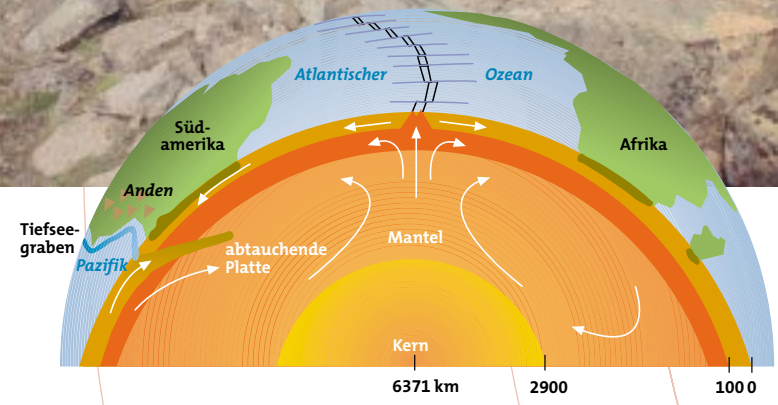
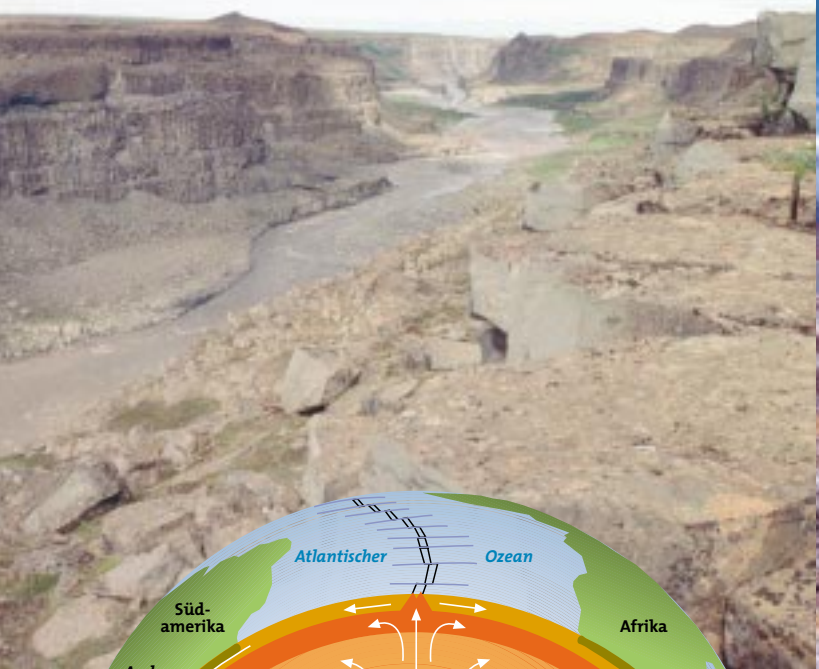
Solche Temperaturen sind aber mild im Vergleich zur Höllenhitze unter einem Vulkan. In manchen Laven wurden Temperaturen von 1400 Grad Celsius gemessen. Und tief im Inneren der Erde ist es sogar noch heißer. Im unteren Erdmantel in 2900 Kilometern Tiefe, an der Grenze zum Erdkern, herrschen schon 3000 Grad. Im Mittelpunkt der Erde dürften es sogar zwischen 5000 und 7000 Grad sein – genauso heiß wie auf der Sonnenoberfläche.

*oben:* Gewaltige Eruptionen und 7000 Grad Hitze: Die Oberfläche der Sonne. Genauso heiß ist es im Inneren der Erde.

*links:* Wie in einem Kochtopf auf dem Herd wird im Erdinneren warmes Material nach oben transportiert, kaltes dagegen ist schwerer und sinkt ab. Diese kühleren Strömungen sind in der Modellgrafik braun-rot dargestellt.

## Wie das Feuer auf die Erde kam

Als die Erde vor mehr als vier Milliarden Jahren aus einem großen Feuerball entstand, sanken bei der langsamen Abkühlung vor allem die schweren Elemente zum Erdmittelpunkt. Die leichten Materialien sammelten sich an der Oberfläche und bildeten die Grundlage für die späteren Kontinente. Der Erdkern besteht deshalb vor allem aus den relativ schweren Elementen Eisen und Nickel. Wegen seiner Lage in der Mitte der Erdkugel lastet auf ihm ein enormer Druck. Der führt dazu, dass der Kern trotz der höllischen Temperaturen nicht schmilzt. Im Erdmantel sind die Temperaturen zwar niedriger – dafür aber auch der Druck. Deshalb kann sich das Gestein dort ausdehnen und in zähflüssiges Magma verwan-



Mitten durch den Atlantik verläuft unter Wasser ein riesiges Gebirge: der Mittelatlantische Rücken. Hier reißen zwei Platten auseinander, gut sichtbar in Island, dem höchsten Punkt des Gebirges (Bild links). Magma fließt nach, erkaltet und bildet neues Gestein (Grafik). An anderer Stelle entstehen durch das Abtauchen der schweren pazifischen Platte unter Südamerika (Grafik) ein Tiefsee-graben und die gefährlichen Vulkane in den Anden (Bild oben).

Satellitenbild von der Vulkankette Hawaiiis. Über den Schlot im Erdmantel treibt die pazifische Platte von Südosten nach Nordwesten. Die rechte Insel mit dem Vulkan (Kilauea) ist die jüngste.

Lavawüste auf Island. Sie entstehen, wenn eine bestimmte Sorte Lava langsam erkaltet, während sie sich voranschiebt.

deln. Geheizt wird diese brodelnde Masse vom festen Erdkern, der – zum Beispiel durch den Zerfall radioaktiver Elemente – laufend Wärme erzeugt. Doch nun kommt auch noch Bewegung in die Sache: So wie die Auftriebskraft einen Heißluftballon steigen lässt, beginnt nämlich auch das heiße Magma aus dem tiefen Erdinneren in die kühleren Regionen weiter oberhalb aufzusteigen. An anderer Stelle sinkt kaltes Material von oben wieder nach unten ab. Ein ähnlicher Vorgang findet auch in einem Kochtopf auf dem Küchenherd statt. Aus der Mitte des Topfes steigt warmes Wasser nach oben, kühlt dort ab und sinkt an den Seiten zurück nach unten. Auf der warmen Herdplatte dauert dies Sekunden, im Inneren der Erde Millionen Jahre. Denn das Magma bewegt sich im Vergleich zum Wasser unendlich langsam.

**Magma als Motor**

Genau diese Bewegung des Magmas ruft die verheerenden Vulkanausbrüche und Erdbeben auf der Erdoberfläche hervor. Der Grund: durch die zähe Umwälzung der Schmelze werden die verschiedenen Platten der Erdkruste fortwährend gegeneinander verschoben. Ein gutes Dutzend unterschiedlich großer Schollen, die die Kontinente und Ozeane bilden, schwimmen wie ein nie fertig werdendes Puzzle auf der Oberfläche des großen, glutflüssigen Meeres im Inneren der Erde. Diese Bewegung lässt sich heute mit Hilfe von Satelliten

genau messen. Sie beträgt je nach Platte zwischen wenigen Millimetern und 10 Zentimetern pro Jahr. Dort, wo solche Platten aneinander stoßen – etwa in Kalifornien, Japan oder an der Westküste Südamerikas – „kleben“ die beiden Gesteinsschollen durch Reibung aneinander. Wächst jedoch der Druck, der beide Platten aufeinander treibt, läßt sich die Kontaktstelle immer mehr mit innerer Spannung auf. Irgendwann entlädt sich diese dann in einem Erdbeben. Die mechanische Energie, die bei solch einem Ruck frei wird, ist gewaltig. Millionen Tonnen von Gestein werden innerhalb von Bruchteilen von Sekunden zum Teil mehrere Meter weit gegeneinander verschoben – und das auf einer Länge von bis zu 200 Kilometer. Es entstehen Erdbebenwellen, die sich mit Geschwindigkeiten von mehreren Kilometern pro Sekunde ausbreiten und bei heftigen Beben den ganzen Globus mehrfach umrunden können.

**Wenn sich das Feuer Luft macht**

Bei Vulkanausbrüchen macht sich das glutflüssige Magma, das den weitaus größten Teil der Masse unseres Planeten ausmacht, noch wesentlich direkter bemerkbar. Auf – grob vereinfacht – drei verschiedenen Wegen gelangen dabei die Eingeweide der Erde ans Tageslicht: Dort, wo zwei Platten sich voneinander entfernen, strömt langsam und stetig flüssige Lava nach. So wird an die Ränder

der Platten neues Gesteinsmaterial „angebaut“. Auch mitten in einer Platte kann ein Vulkan entstehen, wenn flüssiges Magma aus dem tiefen Erdmantel durch einen dünnen Kanal nach oben steigt. Die Insel Hawaii ist dafür das beste Beispiel. Hier fließt Lava mehr oder weniger ruhig aus der Erde heraus. Da dieser „Hotspot“ immer an der gleichen Stelle bleibt, die pazifische Platte sich aber bewegt, liegt hinter Hawaii eine ganze Kette erloschener Vulkane. An dieser Inselkette kann man sehr gut die Bewegungsrichtung der Scholle ablesen. Die gefährlichste Vulkanvariante entsteht, wenn sich – wie zum Beispiel in den südamerikanischen Anden – eine schwere ozeanische

Platte schräg unter eine leichte Kontinentalplatte schiebt. Hierbei transportiert die abtauchende Platte Wasser ins Erdinnere, das in einer bestimmten Tiefe die Schmelzeigenschaften der Gesteine dramatisch verändert. Blasen mit zähflüssigem Magma bilden sich und steigen nach oben. An der Erdoberfläche entstehen dort Vulkane, wie zum Beispiel die Vulkankette in den Anden. Jedoch erkaltet das Magma häufig auf dem Weg nach oben und bildet nun einen verhängnisvollen „Pfropf“. Wird der aufgestaute Druck durch das nachdrängende Magma zu groß, fliegt der Propf wie bei einer Sektflasche heraus. Die Folge ist eine heftige Eruption.

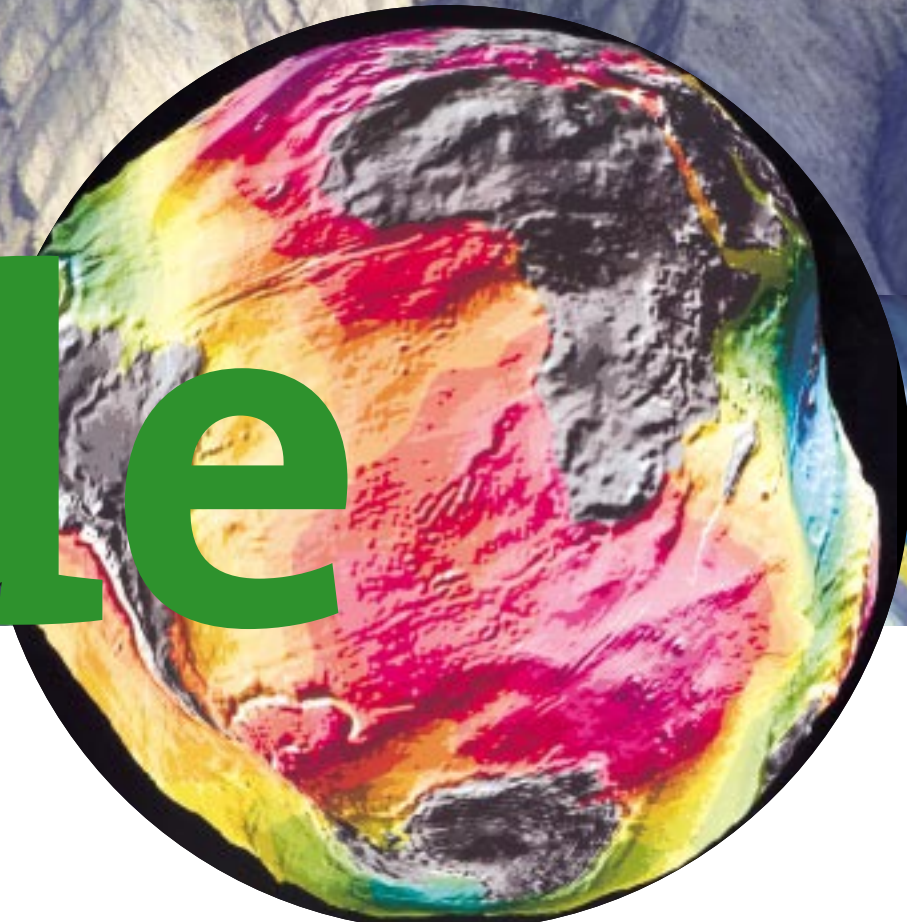


In der Eifel finden sich zahlreiche erloschene Vulkane. Ihre trichterförmigen Krater (Maare) bilden heute Seen.

Aktive Vulkane gibt es in Deutschland nicht, dennoch findet man auch hier zu Lande Spuren ehemaliger Feuerberge: am Kaiserstuhl im Oberrhein, am Vogelsberg, im Hegau, im Siebengebirge und vor allem in der Eifel. Mehr als 240 Vulkane und kleinere Ausbruchsstellen haben Geologen zwischen Mosel, Rhein und Ardennen entdeckt, 59 davon sind Maare. Dabei handelt es sich um trichterförmige Vulkankrater. Die meisten dieser runden, oft von einem Wall umgebenen Trichter sind mit Wasser gefüllt. Eifelmaare haben einen Durchmesser von bis zu 1,7 Kilometer und sind bis zu 180 Meter tief. Der größte See in der Eifel, der Laacher See, entstand nach einem Vulkanausbruch vor 11.000 Jahren. Heute sind die Vulkane in der Eifel zwar erloschen, jüngste Forschungen haben aber gezeigt, dass unter diesem Mittelgebirge noch immer große Mengen heißen Magmas schlummern.



# erde



großes Bild: Berge in Kirgistan

rundes Bild: Das Schwerefeld der Erde ist nicht gleichmäßig. In 15.000facher Überhöhung ähnelt es eher einer Kartoffel.

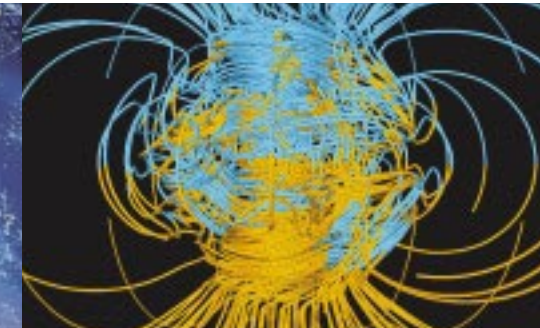
Vor 400 Jahren, als noch niemand ernsthaft an die Raumfahrt dachte, stellte der deutsche Astronom Johannes Kepler seine Gesetze zur Himmelsmechanik auf. Ellipsen spielen darin eine wichtige Rolle: Die Bahn der Erde um die Sonne beschreibt ein solches Oval, auch der Mond und alle Satelliten folgen Ellipsenbahnen. Der künstliche Erdtrabant mit dem Namen CHAMP, der am 15. Juli 2000 vom russischen Kosmodrom in Plesetsk gestartet wurde, gehorcht ebenfalls den Keplerschen Gesetzen. Trotzdem bewegt sich dieser in Deutschland entwickelte Satellit – wenn man genau hinschaut – nicht entlang einer reinen Ellipse. Seine Umlaufbahn hat viele Beulen und Dellen.

### Die blaue Kartoffel wird umgepolt

Die Gesetze der Himmelsmechanik müssen deshalb aber nicht neu geschrieben werden. Die tor-

können Geowissenschaftler diese Unregelmäßigkeiten im Erdinneren berechnen und dabei mehr über den Aufbau der Erde erfahren.

Das bewegte Innere unseres Planeten ist auch Ursache für ein weiteres Phänomen, das dieser Satellit erforscht. Schon die Wikinger nutzten es zur Navigation auf dem Meer – das Magnetfeld der Erde. Es wird in 3000 Kilometern Tiefe „produziert“: Den festen inneren Erdkern, der ständig rotiert, umfließt der flüssige äußere Kern aus viel Eisen und ein wenig Nickel. Durch die hohe Temperatur haben sich einige Elektronen von den Eisenatomen gelöst. Durch die schnellere Drehung des Kerns und auftretende Temperaturunterschiede kommt es zur Wanderung dieser elektrisch geladenen Atomrümpfe. Bewegte Ladung ist aber Strom, und der erzeugt schließlich das Magnetfeld – wie in einem Dynamo. Da im Inneren der Erde aber alles in Bewegung ist, sind die so entstehenden magnetischen Nord- und



kelnde Bahn von CHAMP spiegelt nur jene Unregelmäßigkeiten wieder, die im Schwerefeld der Erde herrschen. Denn so wie seine Bahn keine Ellipse, ist auch die Erde keine Kugel.

Schaut man sich die Erde genauer an, hat sie eher die Form einer unregelmäßigen Kartoffel. So wird zum Beispiel das Wasser in den Weltmeeren an unterschiedlichen Stellen auf dem Globus verschieden stark angezogen. Dadurch liegt zum Beispiel der Meeresspiegel des Indischen Ozeans 120 Meter tiefer als der des Pazifik. Der Grund: Die zähe Gesteinsschmelze im Inneren der Erde – wegen ihrer großen Masse hauptverantwortlich für die Erdanziehung – ist nicht gleichmäßig verteilt. Sie ähnelt eher dem Inneren einer „Lavalampe“: Flüssigkeiten unterschiedlicher Dichte wabern dort zähflüssig umeinander, zusätzlich in Bewegung gebracht durch die Wärme einer Lampe am Sockel. Aus der genauen Analyse der Bahn von CHAMP

Südpole nicht von ewiger Dauer. So hat sich in der Geschichte der Erde das Magnetfeld schon etwa 30 mal umgepolt. In zwei bis viertausend Jahren wird dies wieder der Fall sein – und schon heute kann man feststellen, dass das Erdmagnetfeld stetig abnimmt.

### Erdkunde von oben

Die Satellitentechnik bietet den Geowissenschaftlern auch auf vielen anderen Gebieten Hilfe. Inzwischen umkreisen nämlich Dutzende von Fernerkundungssatelliten die Erde. Ihre Sensoren – von digitalen Kameras bis zu Messgeräten für Wärmestrahlung – geben den

links: Der deutsche Geoforschungssatellit CHAMP. Mit ihm vermessen Geowissenschaftler die Form und das Magnetfeld der Erde.

mitte: Das Magnetfeld der Erde, das die Kompassnadeln ausrichtet. Diese Simulation zeigt die Feldlinien des Erdmagnetfeldes: Blaue führen in Richtung Erdkern, gelbe aus dem Kern heraus.

rechts: Im Labor konnte mit flüssigem Natrium die Entstehung des Erdmagnetfeldes im Kleinen simuliert werden. Das Natrium bewegte sich so, wie man es im flüssigen Erdkern vermutet und erzeugte ein stabiles Magnetfeld.

Wissenschaftlern nicht nur eine neue Perspektive bei der Untersuchung von Gesteinen und Gebirgen. Die Auswertung der Satellitenbilder erleichtert auch die Suche nach neuen Rohstoffen und hilft bei der Katastrophenvorsorge, beispielsweise bei der Überwachung aktiver Vulkane. Schließlich profitieren von den Bildern aus dem Orbit auch jene Forscher, die sich mit den allerobersten Schichten der Erde beschäftigen. Wie nie zuvor können die Bodenkundler heute nämlich Veränderungen in jenem Teil der Erde untersuchen, der uns alle ernährt – die Ackerkrume unserer Felder und die Böden, auf denen unsere grünen Lungen, die Gärten und Wälder wachsen. So lässt sich beispielsweise das Fortspülen fruchtbaren Bodens durch Regenwasser oder das Ausmaß von Waldschäden aus dem All leichter erkennen.

### Nadelstiche und Röntgenbilder

Geowissenschaftler müssen aber nicht unbedingt in den erdnahen Weltraum hinaus, um den Geheimnissen des Inneren der Erde auf die Spur zu kommen. Oft geben auch Bohrungen in die Erdkruste neue Informationen. Allerdings sind selbst 10 Kilometer tiefe Bohrlöcher verglichen mit dem Erddurchmesser von 12600 Kilometern nur kleine Nadelstiche in die Haut der Erde. Seit 1968 haben mehrere hundert Forscher von zwei Schiffen aus den Ozeanboden an vielen Tausend Stellen in allen Weltmeeren angebohrt, von der stürmischen

Küste Labradors bis zu den Falkland-Inseln, von der Südsee bis zum Polarmeer. Bei diesen Bohrungen wurde auch die Theorie bestätigt, dass die Erdoberfläche aus verschiedenen beweglichen Platten besteht. Der deutsche Geophysiker Alfred Wegener hatte dies 1912 postuliert. So fanden die Forscher heraus, dass der Meeresboden immer älter wird, je weiter er von den so genannten mittelozeanischen Rücken entfernt liegt. Dort befindet sich nach der Theorie der „Plattentektonik“ die Kinderstube der Ozeanschollen: zwei Platten entfernen sich voneinander, in die entstehende Lücke fließt immer neues Magma nach (siehe Seite 8).

Forschungsbohrungen finden auch an Land statt. So erreichten Forscher im Rahmen des Kontinentalen Tiefbohrprogramms der Bundesrepublik Deutschland (KTB) in der bayerischen Oberpfalz eine Tiefe von 9101 Meter. Das Gestein, auf das sie in dieser Tiefe stießen, war nicht mehr hart und spröde, sondern weich und nachgiebig. Zum ersten Mal hatte man die feste obere Erdkruste verlassen und war in das Reich des zähflüssigen Erdinneren vorgestoßen. Eine solche Forschungsbohrung unterscheidet sich grundsätzlich von einem Loch, das man mit einer Bohrmaschine in eine Zimmerwand bohrt. Die Erde wird nämlich mit kranzförmig angeordneten „Rollenbohrern“ angebohrt. Statt lästigem Staub liefert dieses Gerät runde Bohrkerne – wertvolle Gesteinsproben aus der Tiefe. Sie werden sorgfältig archiviert und

Solche Bohrmeißel fraßen sich dabei durch das Gestein. Die mit Hartmetall besetzten Stahlkegel rotieren gegeneinander.

aufbewahrt, damit Geowissenschaftler sie auch noch nach Jahrzehnten untersuchen können. Die Forscher analysieren dabei unter anderem die chemische Zusammensetzung und den inneren Aufbau des Gesteins. Das Ziel: herauszufinden, ob sich die Gesteine aus der Tiefe von den Felsen an der Erdoberfläche unterscheiden – und so etwas von den Geheimnissen des Erdinneren offenbaren.

Die bisher zuverlässigsten Informationen über das Erdinnere stammen aber aus der Erdbebenkunde. Jedes Beben erzeugt seismische Wellen,

die sich durch die gesamte Erde und entlang ihrer Oberfläche ausbreiten. An jeder Grenzschicht, beispielsweise beim Übergang vom Erdmantel zum Erdkern, werden diese Wellen reflektiert – und senden somit Informationen über diese Schichtgrenze zurück zur Erdoberfläche. Werden sie dort mit Seismometer-Netzen aufgefangen – weltweit gibt es schon mehr als 1000 Stationen – sind sie für die Forscher wie Röntgenstrahlen, die den fernen Körper unseres Planeten durchleuchten können.

Ganz in der Nähe von Darmstadt wurde in einer Grube über 100 Jahre lang Ölschiefer abgebaut. Aus diesem bröseligen Gestein gewannen die Betreiber nicht nur Rohöl, Paraffin und Schwarzfarben – immer wieder kamen auch wunderschön erhaltene Versteinerungen zu Tage. Eine wissenschaftliche Sensation war der Fund eines etwa einen halben Meter großen, antilopenartigen Säugetieres. Es stellte sich heraus, dass es sich dabei um ein zirka 50 Millionen Jahre altes Fossil eines Urpferdchens handelte. Dessen Vorderbeine hatten je drei, die Hinterbeine je vier Hufe. Es war aber kein Grasfresser wie alle heutigen Pferde. Stattdessen fraß es Blätter von Sträuchern und sogar Weintrauben.

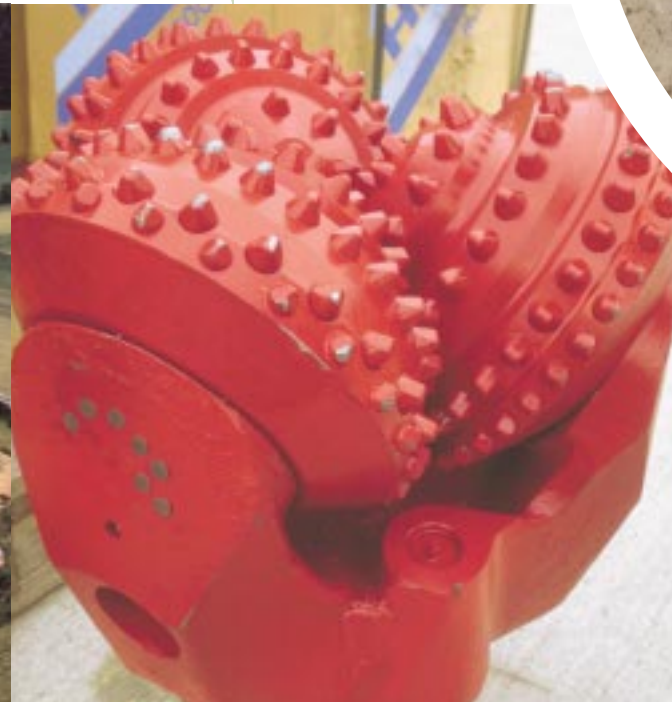
Zu den Prunkstücken der Messeler Fossilien gehören auch mehrere Fledermäuse (Bild), von denen sogar noch die Flughäute erhalten sind. Inzwischen ist der Tagebau längst eingestellt und die Grube Messel als eine der wichtigsten Fossilfundstätten Europas durch die UNESCO zum Weltkulturerbe erklärt worden.



*unten links:* Erdbeben breiten sich in Wellen aus (hier: Beben in der Türkei vom 17.08.99). Fester Boden kann dabei zerreißen.

*unten rechts:* Schon vor fast einhundert Jahren zeichnete der Göttinger Geophysiker E. Wiechert mit diesem Seismografen Erdbebenwellen auf.

Der 83 Meter hohe Bohrturm des Kontinentalen Tiefbohrprogramms in der Oberpfalz. Damit haben sich Wissenschaftler mehr als neun Kilometer tief in die Erdkruste gebohrt.



# wasser

Es gibt Gegenden auf der Erde, da fühlt man sich in ein Mathematikbuch versetzt. Der Begriff „Unendliche Ebene“ bekommt plötzlich eine – je nach Temperament – erschreckende oder faszinierende Realität: Wer sich auf dem Filchner-Ronne-Schelfeis in der Antarktis einmal um sich selbst dreht, sieht bis zum Horizont weder Fels, noch Fluss, noch Pflanze oder gar ein Tier. Gegen das eintönige, bügelglatte Weiß dieser Eisfläche ist jede Wüste ein heimlicher Ort. Nur bei sehr genauem Hinsehen lässt sich ein schwaches Relief auf dem Boden ausmachen: Der ständig wehende Wind hat den Schnee zu kleinen, nur wenige Zentimeter hohen Rippeln aufgeworfen.

Das Filchner-Ronne-Schelfeis schwimmt auf dem südlichen Polarmeer. Der im Durchschnitt 600 Meter dicke Eispanzer ist eineinhalb mal so groß wie Deutschland. Gespeist wird das Schelfeis von den Hochflächen im Inneren des antarktischen

bar, denn mehr als 92 Prozent allen Süßwassers ist in Eis und Schnee gebunden. Ein ganz geringer Teil davon steckt in den Gletschern der Hochgebirge und nur knapp ein Zehntel ruht im Eis Grönlands. Der weitaus größte Teil des Süßwassers lagert dagegen tiefgefroren auf der riesigen antarktischen Landmasse oder säumt als Schelfeis deren Küste.

Jeden Winter kühlt das Meerwasser unter dem Schelfeis stark aus und gefriert. Das im Meerwasser gelöste Salz wird dabei aber nicht in die Eiskristalle eingebunden, wodurch sich der Salzgehalt des ungefrorenen Wassers leicht erhöht. Der größere Salzanteil und seine kalte Temperatur von unter null Grad geben diesem Wasser eine höhere Dichte und es beginnt zu sinken. Quasi als riesengroßer „Wasserfall im Wasser“ stürzt es an der Kante des antarktischen Kontinents herunter. Dieses kalte, salz- und sauerstoffreiche „antarkti-

Die deutsche Neumayer Station steht auf dem 200 Meter dicken, nahezu ebenen Ekström Schelfeis.

Kontinents. Ohne Unterlass bewegt sich das Eis des Südpols in Form von riesigen Gletschern und Eisströmen auf die Küsten zu. Dort schwimmt es dann auf dem Meer, denn Eis hat eine geringere Dichte als Wasser. Das Eis kriecht dabei so langsam wie eine Schnecke und legt in jedem Jahr nur einige Kilometer zurück.

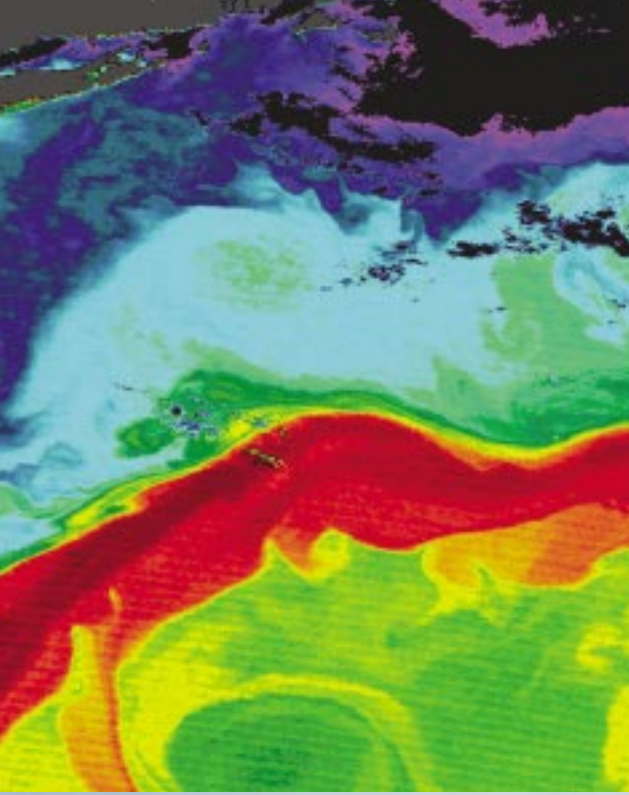
## Der nasse Planet

Mehr als 70 Prozent der Erdoberfläche sind von Wasser bedeckt, insgesamt ein Volumen von fast 1,4 Milliarden Kubikkilometern. Diese Menge würde ausreichen, um ganz Europa unter einer 140 Kilometer hohen Wasserschicht zu versenken. 97 Prozent sind Salzwasser in den Ozeanen, lediglich 3 Prozent trinkbares Süßwasser. Aber auch davon ist nur der kleinste Teil als Wasser verfü-

gbar, denn mehr als 92 Prozent allen Süßwassers ist in Eis und Schnee gebunden. Ein ganz geringer Teil davon steckt in den Gletschern der Hochgebirge und nur knapp ein Zehntel ruht im Eis Grönlands. Der weitaus größte Teil des Süßwassers lagert dagegen tiefgefroren auf der riesigen antarktischen Landmasse oder säumt als Schelfeis deren Küste.

## Pumpen für Ozeane

Das antarktische Bodenwasser ist nur ein Teil eines globalen Wassersystems, das in mehreren „Stockwerken“ in den Weltmeeren zirkuliert. Auch im hohen Norden, in der Grönlandsee, existiert ein großer „Wasserfall“, in dem ausgekühltes Oberflächenwasser in tiefere Ozeanschichten sinkt. Dieses Tiefenwasser fließt um das Kap der Guten Hoffnung herum und steigt in Äquatornähe im Indischen Ozean wieder auf. Dort wird es erwärmt und fließt als Oberflächenwasser zurück in den Atlantik, macht einen kurzen Schlenker über die subtropische Karibik und erreicht



oben: In der Infrarot-Aufnahme erscheint der warme Golfstrom in roter Farbe. Der Bildbreite entsprechen etwa 500 km.

mitte links: Das Sehestedter Außen-deichsmoor am Jadebusen droht, im Meer zu versinken.

mitte rechts: Auf dem Boden des Wattmeeres bilden sich Wellenmuster aus, so genannte Rippeln.

unten: Ein schwarzer Raucher, 10 Meter hoch, Lebensraum für bizarre Lebewesen. Durch den hohen Mineralgehalt speisen diese heißen Quellen am Meeresboden in 5000 m Tiefe auch riesige Erzlagerstätten.

schließlich die Küsten Nordwesteuropas. Dort sorgt dieser warme „Golfstrom“ dann dafür, dass die Winter in Nordeuropa wesentlich milder sind als zum Beispiel in Kanada, obwohl beide ungefähr auf dem gleichen Breitengrad liegen.

Wenn die vom Golfstrom erwärmte Luft auf kalte Luftmassen aus der Arktis trifft, kommt es vor allem im Herbst zu Sturmtiefs an den Küsten Westeuropas. Die dort lebenden Menschen sind heute durch be-

USA, wird der größte Teil des Trinkwassers aus Oberflächenwasser gewonnen, also aus Flüssen, Seen und Talsperren. In der Regel ist die Qualität von Grundwasser aber besser, weil es weder durch menschliche Verschmutzung, Überschwemmungen oder lange Dürreperioden beeinflusst wird. In vielen Ländern außerhalb Europas gibt es aber keine Alternative zum Wasser aus den Flüssen. Häufig kommt es deshalb zu Auseinandersetzungen zwischen den Menschen am Oberlauf eines Flusses und denen am Unterlauf, die sich gegen übergroße Wasserentnahmen und das Einleiten von Abfallstoffen nicht wehren können. Fließt ein Fluss durch mehrere Länder, sind Konflikte meist

vorprogrammiert – wie zum Beispiel beim Irtysh in Sibirien, um dessen Nutzung sich China, Kasachstan und Russland streiten.

### Im Rauch der Tiefe

Sauberes Grundwasser ist für uns lebenswichtig. Einige – recht bizarre – Bewohner unseres Planeten haben da eine ganz andere Vorstellung: für sie muss Wasser schwarz sein, schwefelig, und am besten noch mit Eisen, Kupfer und anderen Metallen versetzt. In den siebziger Jahren entdeckten Forscher nahe den Galapagos Inseln in großer Tiefe wahre Oasen auf dem stockdunklen Meeresgrund. In der Umgebung so genannter Schwarzer Raucher – extrem heißer, mineralischer Quellen – fanden sie Muscheln, Krebse und meterlange Röhrenwürmer. Diese Lebewesen sind nicht auf Sonnenlicht angewiesen – am Anfang der Nahrungskette ihres Ökosystems stehen Bakterien, die sich von im Wasser gelöstem Schwefelwasserstoff ernähren. Der schwarze „Rauch“ entsteht dadurch, dass Wasser in Erdspalten auseinander strebender Ozeanplatten fließt. In der Tiefe wird es erhitzt und steigt mit hoher Geschwindigkeit wieder auf. Dabei löst das Wasser die Mineralien aus dem umgebenden Gestein. Interessant ist diese Welt in absoluter Dunkelheit auch deshalb, weil sie die Phantasie einer ganz anderen Gruppe von Forschern beflügelt: jenen, die sich überlegen, wie wohl das Leben auf anderen Planeten aussehen könnte.



festigte Deiche recht gut geschützt – zu früheren Zeiten aber kamen die Sturmfluten manchmal einem Weltuntergang gleich. So zum Beispiel die große „Mannentränke“ von 1362, bei der die nordfriesische Stadt Rungholt vollständig im Meer verschwand. Bis heute tauchen immer wieder Reste dieser Siedlung aus dem Wattboden auf.

### Das weiche Wasser und der Stein

Der Jade-Busen und viele andere Buchten der Nordsee entstanden durch große Sturmfluten während des Mittelalters, und das Wasser nagt auch heute noch fortwährend an der Küste. Andererseits schwimmen die großen Flüsse auch Sediment von den Gebirgen heran und bilden neues Land. Wer am Strand von Holland steht, hat so auf jeden Fall auch einen Teil Alpen unter den Füßen.

Wasser gibt es aber nicht nur in Flüssen, im Meer und im polaren Eis – als Grundwasser liegt es direkt unter uns. Ein großer Teil davon ist fest im Gestein gespeichert; im Untergrund Hessens zum Beispiel zirka 60 Milliarden Kubikmeter, etwas mehr als das Volumen des Bodensees. Eine kleinere Menge fließt als unterirdischer Strom unter dem Bundesland hinweg. Aus ihm beziehen die Wasserwerke ihr Trinkwasser, die im Stein gespeicherte Menge dient als Reserve. In anderen Ländern, beispielsweise in England oder den

Gashydrate sind Feststoffe, die so ähnlich aussehen wie Trockeneis. Sie finden sich unter dem ewigen Eis der Arktis und in den Ozeanböden. Sie enthalten Methan (CH<sub>4</sub>), das in hoher Dichte in einem festen Käfig aus Wassermolekülen eingeschlossen ist. Wissenschaftler untersuchen die weltweit vorkommenden Gashydrate, da Methan ein hoch wirksames Treibhausgas ist. Der in diesen Gashydraten enthaltene Anteil an Kohlenstoff übertrifft deutlich den Kohlenstoffanteil der bisher genutzten fossilen Brennstoffe. Methan setzt jedoch bei der Verbrennung mit gleichem Energiegewinn weniger CO<sub>2</sub> frei als Erdöl und Erdgas.

Im Jahre 1875 hielt der schwedische Geologe Otto Torell einen Vortrag vor der Deutschen Geologischen Gesellschaft in Berlin. Als er fertig war, spendete ihm das Publikum spontan Beifall. Er hatte nämlich erstmals überzeugend erklärt, wie eine Reihe paralleler Streifen auf Kalksteinen in Brandenburg entstanden waren – es handelte sich um Gletscherschrammen, Schleifspuren eines mächtigen Eispanzers. Man mag es kaum glauben, aber es ist erst gut 125 Jahre her, seitdem wir wissen, dass in der Eiszeit große Teile Deutschlands unter kilometerdickem Gletschereis lagen. Im Norden erstreckte sich die Eisbedeckung von der Ostseeküste über die Mark Brandenburg und die Mecklenburgische Seenplatte bis zum Niederrhein. Im Süden waren das ganze Voralpenland sowie Teile des heutigen Sachsens und Thüringens unter Eis begraben. Mehr als 100.000 Jahre dauerte diese nach den Flüssen Weichsel und Würm benannte Eiszeit, bevor die letzten Gletscher vor 11.000 Jahren endgültig schmolzen.



# Luft

Im Ostpazifik, weit draußen vor der Küste Perus, braut sich etwas zusammen. Normalerweise ist das Meerwasser dort kalt und voller Nährstoffe und somit ein ideales Fanggebiet für Fischer. Alle paar Jahre aber wird das kalte Wasser durch eine wärmere Meeresströmung ersetzt. Dann bleiben nicht nur vor Peru die Fische weg. Im sehr trockenen Westen Nordamerikas kommt es zu schweren Regenfällen mit großen Überflutungen, im östlichen Teil Südamerikas und in Südostasien zu Dürren. Meteorologen nennen diese Kapriolen des Wetters „El Niño“, das Christkind. Denn peruanische Fischer hatten bemerkt, dass das kalte Meerwasser oft genau zur Weihnachtszeit versiegte. Weltweit gehen zurzeit Geoforscher der Frage nach, was die Ursache für dieses rätselhafte Naturereignis sein könnte – eine allgemein akzeptierte Erklärung gibt es bis jetzt nicht.

## Rotierendes Schleusentor

Auch im Nordatlantik besteht ein großräumiger Zusammenhang zwischen Meer und Wetter. Dort bilden das Islandtief und das Azorenhoch das Einfallstor für jene Sturmtiefs, die Europa regelmäßig mit feuchter, atlantischer Luft heimsuchen. Die Triebfeder dieses Wetterphänomens ist die von der Erddrehung erzwungene so genannte Corioliskraft. Sie sorgt dafür, dass sich auf der Nordhalbkugel die Luft in einem Hochdruckgebiet im Uhrzeigersinn, in einem Tiefdruckgebiet aber gegen den Uhrzeigersinn dreht (auf der Südhalbkugel umgekehrt). Liegen zwei solche gegenläufigen „Schaufelräder“ nahe beieinander, ist die Bewegungsrichtung in der Berührungszone gleich – wie man sich auch leicht mit Hilfe zweier Untertassen, die man gegenläufig dreht, klarmachen

kann. Dadurch verstärkt sich der Wind in diesem Bereich. Die Azoren mit den berühmten „Hochs“ liegen südlich von Island, das die „Tiefs“ beisteuert. Deshalb wehen in der Zone dazwischen starke Westwinde. Sie ist die „Autobahn“, auf der atlantisches Wetter nach Mitteleuropa transportiert wird.

Damit sind das Azorenhoch und das Islandtief das Ying und Yang des atlantisch-europäischen Klimas. Veränderungen im Unterschied des Luftdrucks zwischen ihnen sorgen für Schwankungen des Wetters in ganz Mitteleuropa. Sind die beiden Wettergebiete im Jahresmittel stark ausgeprägt, die Luftdruckgegensätze zwischen ihnen also groß, gibt es milde, feuchte Winter. Vom Golfstrom erwärmte atlantische Meeresluft bekommt dann genügend Schwung, um auch im Winter bis nach Kontinentaleuropa vorzudringen. Dabei verdrängt

sie die kalten arktischen Luftmassen. Bei schwachen Druckgegensätzen zwischen den beiden Spiralen kommt die Atlantikluft nicht richtig in Fahrt und bleibt über dem Wasser hängen. Auf dem Kontinent kann dann „Väterchen Frost“ ungehindert regieren – klirrend kalte, trockene Winter sind die Folge.

## Wettervorhersage mit GPS

Bis vor wenigen Jahrzehnten wussten Atmosphärenforscher weder etwas vom Zusammenhang zwischen der Wassertemperatur im Ostpazifik und den schweren Niederschlägen in Kalifornien, noch ahnten sie, dass Luftdruckschwankungen über

*links:* Vom Weltraum aus betrachtet zeigen die Wolken bizarre Muster, die sich durch das Spiel der Winde ergeben.

*mitte:* Der europäische Satellit ENVISAT soll das Zusammenspiel von Land, Ozean, Polkappen und der Atmosphäre beobachten.

*rechts:* Das Abendrot entsteht durch Beugung des Sonnenlichts in der Erdatmosphäre. Nur der rote Anteil gelangt ins Auge des Betrachters.

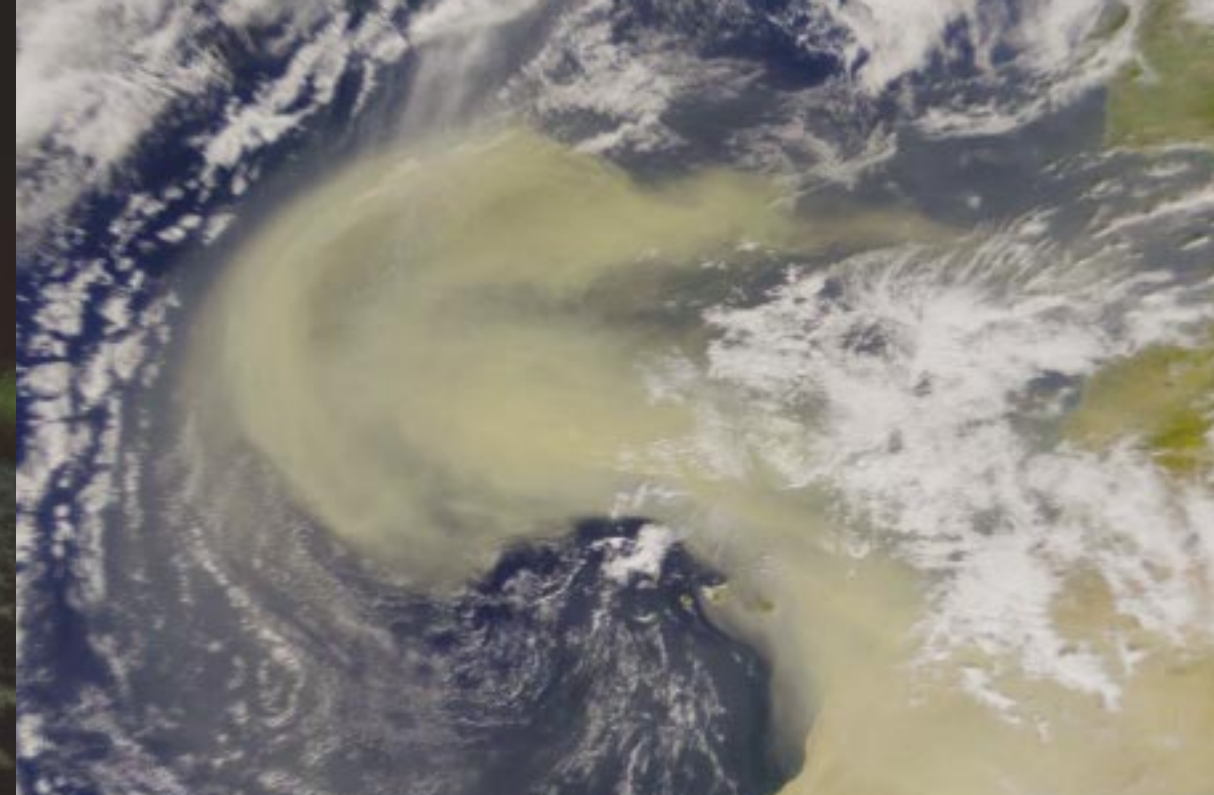




Mit Ballons wie diesen messen Wissenschaftler die Zusammensetzung der Luft in der Atmosphäre – bis in einer Höhe von 50 km über dem Erdboden. So lassen sich zum Beispiel der Sommersmog und das Ozonloch untersuchen.



Das Polarlicht - sichtbare Spuren des Sonnenwindes, der entlang der Feldlinien des Erdmagnetfeldes an den Polen bis in die Atmosphäre gelangt und dort Gasmoleküle zum Leuchten bringt.



Staubstürme entstehen an der Westküste Afrikas häufig. Diese Sturmwolke vom Mai 2001 hat etwa die Größe Spaniens (im Bild rechts oben).

dem Nordatlantik das Klima in Kontinentaleuropa beeinflussen. Denn von hoher See gab es nur wenige zuverlässige Wetterbeobachtungen. Heute liefern Wettersatelliten eindrucksvolle Fotos, Radarsatelliten messen die Höhe der Meeresspiegel, und sogar das Satelliten-Navigationssystem GPS, das viele Autos in Deutschland durch das Verkehrsgewühl leitet, wird mittlerweile zur Wettervorhersage eingesetzt. 24 GPS-Satelliten kreisen in gut 20.000 Kilometern Höhe und senden Radiosignale aus, die dann auf der Erde zur Ortsbestimmung benutzt werden. Ein in Deutschland gebauter Geoforschungssatellit kann diese GPS-Signale auch empfangen. Wichtig sind für ihn die Signale des GPS-Satelliten, der von ihm aus gesehen gerade hinter der Erde verschwindet, also „untergeht“. Sie durchlaufen die Erdatmosphäre besonders lange, bis sie vom Forschungssatelliten aufgefangen und analysiert werden. Auf ihrem Weg werden die Radiowellen vielfach gebrochen, gestreut und verzögert. Aus diesen Verzögerungen lassen sich Temperatur- und Druckunterschiede in der Atmosphäre des gesamten Globus ermitteln.

Bei diesen Messungen kann auch die Anzahl elektrisch geladener Teilchen in der Atmosphäre bestimmt werden. Sie hängt eng mit dem so genannten Sonnenwind zusammen. Dieser Teilchenstrom geht ständig von der Sonne aus und wird norma-

lerweise von unserem Erdmagnetfeld wie von einem Schutzschild um die Erde herum gelenkt. Wenn aber der Sonnenwind zu stark wird, können der Funkverkehr gestört oder sogar Überspannungen in Stromleitungen und Pipelines verursacht werden. Selbst Satelliten funktionieren dann nicht mehr richtig. An den Polen kommen die geladenen Partikel nahe an die Erde heran, stoßen mit Molekülen in der Atmosphäre zusammen und verursachen so die berühmten Polarlichter. Bei der Erkundung dieser Phänomene arbeiten Geophysiker eng mit Fachleuten für Plasmaphysik und jenen Astronomen zusammen, die die Vorgänge in der Sonne erforschen. So ist inzwischen ein neuer Zweig der Geowissenschaften entstanden: die Kunde vom „Weltraumwetter“.

### Verstaubte Erde

Oft haben aber auch Vorgänge im tiefsten Innern der Erde Einfluss auf den Zustand der Lufthülle. Als im Jahr 1991 der Vulkan Pinatubo auf den Philippinen ausbrach, gelangten etwa 20 Millionen Tonnen Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) in die Stratosphäre. Wenn der Vulkan Redoubt in Alaska aktiv ist, speit er täglich bis zu 6 Millionen Tonnen SO<sub>2</sub> in die Luft. Ein Teil davon wird vom Regen schnell aus der Atmosphäre gewaschen, ein großer Rest schwebt jedoch in Form kleinster Aerosol-Partikel jahrelang in der Lufthülle. Noch längst sind nicht alle Folgen

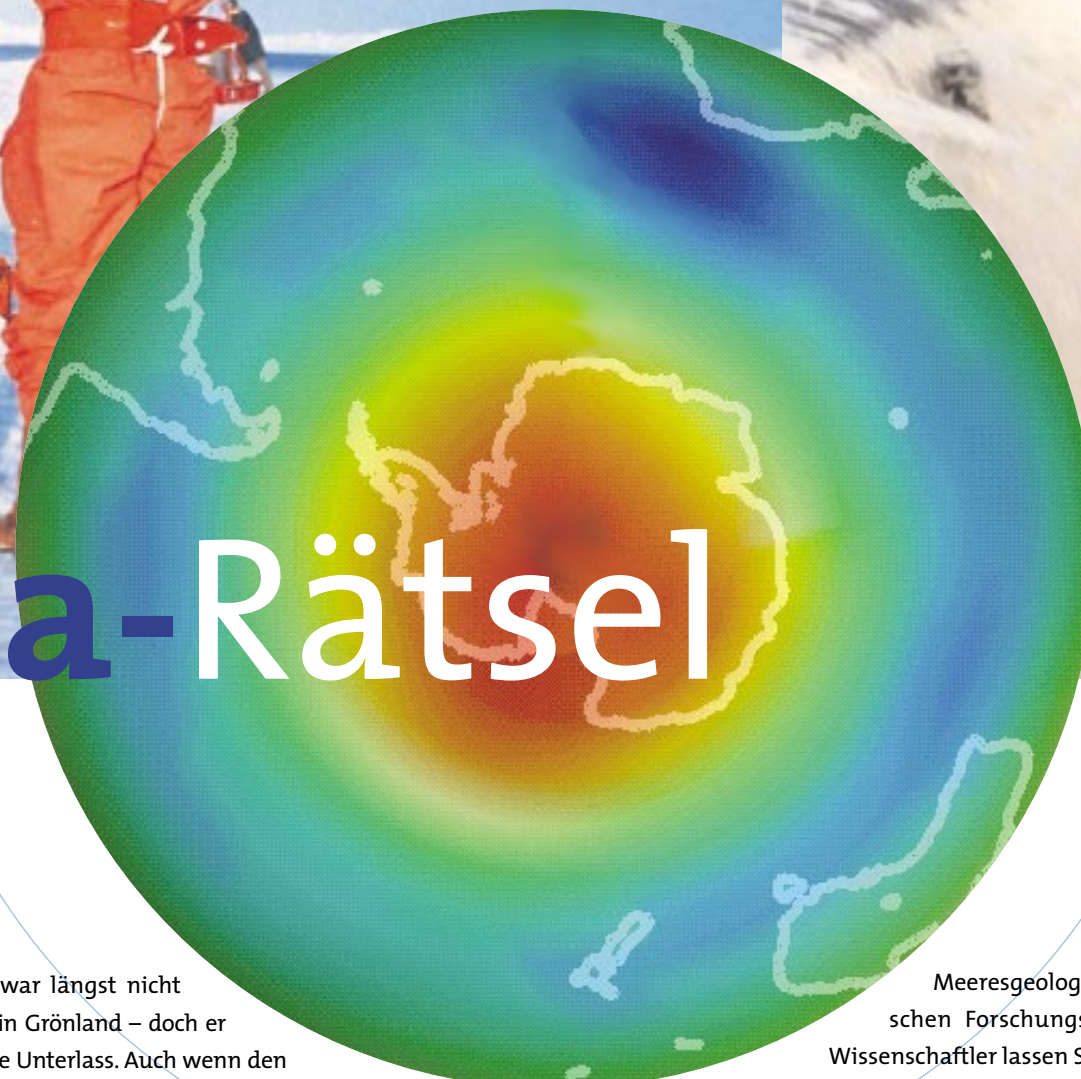
dieses natürlichen Eingriffs in die Atmosphäre erforscht. Man weiß aber, dass die vulkanischen Aerosole die Sonnenstrahlen auf ihrem Weg zur Erdoberfläche beeinflussen. So sorgen sie für romantische purpurrote Sonnenuntergänge, gleichzeitig verringern sie aber die Einstrahlung und kühlen somit die Atmosphäre ab. Die Teilchen aus dem Schlund der Erde bringen aber auch die chemische Zusammensetzung der mittleren Atmosphäre durcheinander. Unter anderem verdünnen sie die schützende Ozonschicht.

Aber längst nicht alle unangenehmen Partikel in der Lufthülle stammen von der Sonne oder aus

Vulkanen. Oft tragen starke Winde Staub quer über den Ozean von einem Kontinent zum anderen. So rieselt aus Fönwinden in Bayern gelegentlich ein feiner gelber Staub – Sand aus der Sahara, vom Winde über Mittelmeer und Alpen verweht. Manchmal regnet es über der nordamerikanischen Westküste sogar Sand aus der chinesischen Wüste Gobi auf der anderen Seite des Pazifik. Und so, wie der Staub nicht vor Kontinentgrenzen halt macht, ist er auch kein ausschließlich irdisches Phänomen: Auch auf dem Mars wurden Staubstürme entdeckt, die denen in der Sahara verblüffend ähnlich sehen.

Vor fast 30 Jahren wurde in Garmisch-Partenkirchen der erste Laserstrahl in den Himmel geschossen. Dabei wurde keine exotische Weltraumwaffe getestet. Stattdessen wollten die Forscher etwas über die Atmosphäre erfahren. Das Messverfahren heißt „LIDAR“: Ein Laserradar wird dabei senkrecht nach oben oder schräg in die Luft gerichtet, wo er zum Beispiel auf Staubteilchen trifft, die sein Licht streuen. Ein Teil des Lichts gelangt so auch zur Bodenstation zurück. Je mehr Licht wieder zurückkommt, desto mehr Staub ist in der Atmosphäre. Gleichzeitig lässt sich aus der Zeit, die zwischen dem Aussenden des Lichtpulses und dem Eintreffen des Signals vergeht, der Abstand zur Wolke ermitteln. Auf diese oder ähnliche Weise messen LIDAR-Systeme von Garmisch aus auch den Gehalt an Ozon und anderer Spurenstoffe in der Luft. Solche Messungen dienen zur Überwachung der Luftreinheit und sind ein weiterer Puzzlestein bei der Erforschung des Erdklimas.





# Das Klima-Rätsel

Wissenschaftler erbohren Eiskerne, die verraten, wie sich Niederschläge und Temperaturen in den letzten 500 bis 1000 Jahren verändert haben – und, wie vor allem der Mensch die Luft seitdem verschmutzt hat.

Das Iglu bietet zwar Schutz vor dem scharfen Wind, der eisig über die Hochfläche im Inneren Grönlands pfeift. Trotzdem müssen die Wissenschaftler auch drinnen dicke Polarkleidung tragen, während sie das Bohrgestänge überwachen, das sich ohne Pause durch das ewige Eis frisst. Die Forscher arbeiten sich durch eine kilometerdicke Eisdecke, die die größte Insel der Welt bedeckt. In einzelnen Schichten hat sich im Lauf der Vorzeit das Eis übereinander gestapelt und bildet so ein einzigartiges „Klimaarchiv“. Regelmäßig unterbrechen die Polarforscher das Bohren und ziehen das Gestänge nach oben. Es enthält zylindrische Proben des Eises, die sorgfältig gesammelt und untersucht werden. Und wäre es im Iglu wärmer, dann würde dieses wertvolle Bohrgut schmelzen. Mit dem Wind kämpfen auch Forscher in 3600 Meter Höhe am Hang des Mauna Loa auf Hawaii. Der

Passatwind ist dort zwar längst nicht so kalt wie der Wind in Grönland – doch er weht ständig und ohne Unterlass. Auch wenn den Wissenschaftlern das Atmen in der großen Höhe schwer fällt, können sie sicher sein, dass die Atemluft so sauber ist wie sonst kaum irgendwo auf der Welt. Denn Hawaii ist mehr als 3700 Kilometer vom amerikanischen Festland entfernt, nach Japan und Fernost ist es noch weiter. Außerdem fehlen am Mauna Loa Autos und Industriebetriebe, die die Luft verschmutzen. Unter diesen idealen Bedingungen können die Forscher kontinuierlich die chemische Zusammensetzung der Atmosphäre und insbesondere deren Gehalt an Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) messen.

Schwere Stürme im Südatlantik behindern gelegentlich auch die Arbeit der Ozeanografen und

*rundes Bild:* Das Ozonloch im Frühjahr, etwa 25 km über dem Südpol. Weltweit nimmt die Ozonmenge ab – allerdings rund um die Erde und je nach Jahreszeit sehr unterschiedlich.

*rechts:* Geowissenschaft kann harte Arbeit bedeuten. Forscher auf dem deutschen Forschungsschiff Meteor kämpfen gegen die Wellen. Sie untersuchen vor allem den Nährstofftransport durch Plankton.

Meeresgeologen an Bord des deutschen Forschungsschiffes Meteor. Die Wissenschaftler lassen Sonden ins Wasser, um in verschiedenen Meerestiefen Temperatur und Salzgehalt zu messen. Mit schweren Eisenkästen, die an langen Stahlseilen hängen, hieven sie außerdem Ablagerungen vom Meeresboden. An Deck wird die Probe sofort analysiert.

## Tropische Meere im Teutoburger Wald

Drei verschiedene Schauplätze, drei unterschiedliche Forschungsrichtungen der Geowissenschaften – dahinter steckt aber eine einzige Fragestellung: Wie steht es um unser Klima? Neu ist diese Frage keineswegs. Schon seit mehr als 150 Jahren beschäftigen sich Geowissenschaftler im Fachgebiet der historischen Geologie mit der Entwicklung

des Klimas im Laufe der Erdgeschichte. Das Ergebnis: Das Klima auf der Erde hat sich in der Vergangenheit – lange bevor Menschen in die Natur eingreifen konnten – schon sehr oft drastisch verändert. Am Beispiel der norddeutschen Tiefebene, zwischen den Höhenzügen des Teutoburger Waldes und der Nordsee wird dies deutlich. Vor 300 Millionen Jahren, im Zeitalter des Karbon, wuchsen dort üppige Wälder, die Ursprünge der heutigen Steinkohleflöze. 50 Millionen Jahre später war das Gebiet von einem flachen tropischen Meer überflutet, das mächtige Salzschiefer zurückließ. In der Kreidezeit, vor 100 Millionen Jahren, grasten dort Saurier, wo heute Kühe weiden. Und es ist noch keine 20.000 Jahre her, dass Norddeutschland große Ähnlichkeit mit dem heutigen Grönland hatte – es war während der Eiszeit unter einem dicken Gletscher begraben.

Für diese langsamen Veränderungen gibt es viele natürliche Ursachen. Wenn beispielsweise die Strahlung der Sonne schwächer wird, sinkt auch die Temperatur auf der Erde. Das ist ein langsamer, fast unmerklicher Vorgang. Plötzlich und katastrophal wirkt dagegen der Einschlag großer Meteorite. Dabei wird so viel Staub aufgewirbelt, dass es auf Jahrtausende hinaus kälter wird. Die Klimaänderung nach einem solchen Einschlag führte beispielsweise vor 65 Millionen Jahren zum Aussterben der Saurier. Die Plattentektonik kann Kontinente im Laufe von Jahrtausenden von einer Klimazone in eine andere verschieben, mächtige Vulkanausbrüche

len der Atmosphäre, Stickstoff und Sauerstoff – nur in Spuren vorkommt, lieferten Keelings Geräte genaue Messwerte. So wissen die Forscher heute, dass nach weniger als einem halben Jahrhundert die Luft am Mauna Loa 18 Prozent mehr Kohlendioxid enthält als damals. Dieser Anstieg ist die Folge der Verbrennung von Kohle, Öl, Erdgas und Benzin in Automotoren, Hausheizungen und in der Industrie. Das Problem dabei: In der Erdatmosphäre macht Kohlendioxid dasselbe wie in den Messgeräten am Mauna Loa – es nimmt Wärmestrahlung auf. Und zwar speziell den Wellenlängenbereich, der von der Erde zurück-

Atmosphäre ebenfalls als Treibhausgas, das genauso wie CO<sub>2</sub> Wärmestrahlung absorbiert und mit der so aufgenommenen Energie die Atmosphäre aufheizt. Auf der anderen Seite sind die Weltmeere ein riesengroßer CO<sub>2</sub>-Speicher. Etwa die Hälfte

### Launisches Klima

Untersuchungen haben gezeigt, dass es in der Wetterküche der Erde früher wesentlich abwechslungsreicher zugeht als angenommen. Lange Zeit dachte man, dass sich Klimaveränderungen langsam und stetig im Verlauf von Jahrhunderten oder Jahrtausenden vollziehen. Offenbar sind aber nur die letzten zehn Jahrtausende eine Phase mit außergewöhnlich stabilem Klima gewesen. Am Ende der letzten Eiszeit vor 10.000 Jahren gab es zum Beispiel eine Periode, in der das Klima äußerst „flatterhaft“ war – als ob sich die Erde



*links:* Im Mauna Loa Observatorium auf Hawaii wird seit Mitte der 50er Jahre kontinuierlich der Klimawandel verfolgt und die Zusammensetzung der Atmosphäre gemessen.

*rechts:* Wo heute noch Wasser fließt und Wälder grünen, kann in einer Kälteperiode schon wenige Tausend Jahre später die Landschaft unter einer Eisdecke liegen.

befördern so viel Asche in die Atmosphäre, dass sich die Erde abkühlt. Selbst das Entstehen großer Gebirge macht sich im Klima bemerkbar. So hat die Auffaltung des Himalaya vor 30 Millionen Jahren dazu geführt, dass die feuchtwarme Luft aus Indien nicht mehr bis in die Region des heutigen China vordringen konnte.

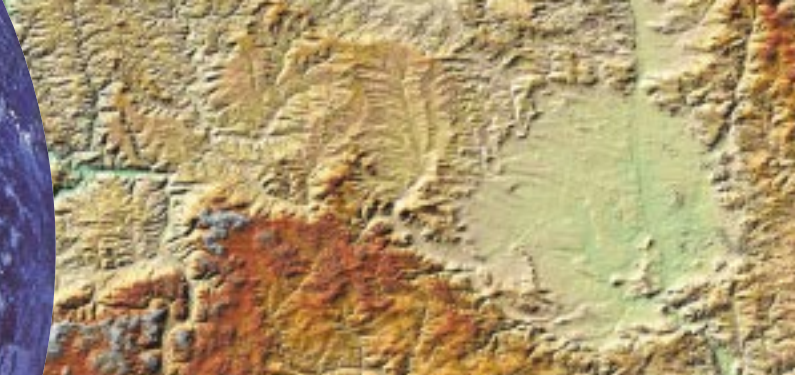
### Was liegt in der Luft?

Es gibt aber auch Einflüsse, die nichts mit der Natur zu tun haben. Das wissen wir spätestens seit dem Jahr 1957. Damals stellte der amerikanische Chemiker David Keeling zuerst am Südpol und dann an der Wetterwarte am Mauna Loa neuartige Messgeräte auf. Mit ihrer Hilfe maß er den Gehalt an Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) in der Luft automatisch in Abständen von wenigen Minuten. Obwohl dieses Gas – verglichen mit den Hauptbestandtei-

gestrahlt wird, nachdem sie durch die Sonne aufgewärmt wurde. CO<sub>2</sub> wirkt dabei also wie die Glasscheibe eines Treibhauses: Es lässt das kurzwellige, von der Sonne einfallende Licht passieren, absorbiert aber die irdische Infrarotstrahlung.

Die entscheidende Frage ist, welche Folgen dies hat. Ist es möglich, dass wir uns mit den vielen Abgasen in eine neue Heißezeit heizen, in der die Polkappen schmelzen, flache Inseln untergehen und fruchtbares Weideland zur Wüste wird? Oder ist die menschengemachte Erhöhung des CO<sub>2</sub>-Gehaltes der Atmosphäre im Rahmen des komplizierten Wechselspiels der vielen natürlichen Vorgänge nur ein kleiner Ausrutscher, der ohne große Folgen für das Klima bleiben wird?

Es macht die Sache nicht einfacher, dass dabei alles mit allem zusammenhängt. So spielt neben Kohlendioxid auch Wasser eine entscheidende Rolle. Einerseits wirkt es als Wasserdampf in der



*rundes Bild:* Die Atmosphäre der Erde ist durchzogen von weißen Schlieren aus Wasserdampf: Wolken.  
*rechts:* Eine Satellitenaufnahme des Meteoritenkraters im Nördlinger Ries (Durchmesser etwa 25 km). Nur sehr selten kommt es zu solchen gewaltigen Einschlägen: Die meisten Meteoriten verglühen in der Erdatmosphäre.

nicht zwischen Eis- und Warmzeit hätte entscheiden können. Die mittlere Temperatur auf der Nordhalbkugel hat sich damals innerhalb weniger Jahre um bis zu sieben Grad verändert.

All diese Erkenntnisse beruhen auf der engen Zusammenarbeit von Polarforschern im ewigen Eis Grönlands, Atmosphärenchemikern bei der Analyse der Luft in Hawaii, Ozeanographen und Meeresgeologen bei ihren Forschungsfahrten in den Südatlantik und zahlreichen anderen Geowissenschaftlern. Erst, wenn die vielen Einzelergebnisse der unterschiedlichsten Disziplinen zusammengeführt werden, erhält man ein realistisches Bild der Geschichte des Klimas. Und nur wer das Klima der Vorzeit kennt und es mit seinen Modellen berechnen kann, der wird damit auch eine Vorhersage über das Klima der Zukunft wagen können.

te des Kohlendioxids, das auf der Erde jedes Jahr neu gebunden wird, nehmen das Plankton und andere Kleinstorganismen in den Ozeanen auf. Wenn diese Organismen absterben und als Partikel zum Meeresboden sinken, wird der Treibhauseffekt tendenziell verringert. An manchen Stellen im Meer wird das Plankton allerdings von Bakterien zersetzt, die dabei CO<sub>2</sub> „ausatmen“, das später wieder in die Atmosphäre gelangt.

# Leben mit der Erde

Klar: Geowissenschaftler sind mit von der Partie, wenn neue Rohstofflager erschlossen oder Tunnel gebohrt werden. Und natürlich zählen sie zu den gefragten Fachleuten, wenn es um die Nutzung geothermischer Energie geht. Doch was haben die Geowissenschaftler mit deutschen und europäischen Baunormen oder den Kosten für Hausversicherungen zu tun?

Die Erforschung von Erdbeben gehört zu den wichtigsten Aufgaben der Geowissenschaften. Die Experten sind mit ihren Messgeräten überall dort zur Stelle, wo die Erde zittert und bebt – in Südamerika zum Beispiel oder in der Türkei. Doch die Ergebnisse dieser Forschungen dienen unter anderem als Grundlage für die Berechnung von Hausversicherungen oder für die Katastrophenvorsorgepläne – auch in Mitteleuropa, wo die Erde vergleichsweise wenig und selten bebt. Aus seismischen Untersuchungen wissen Bauingenieure heute auch, wie Gebäude bei bestimmten Eigenschaften des Untergrundes konstruiert werden müssen, damit sie im Falle eines Erdbebens nicht einstürzen.

Geowissenschaftler sind aber auch für die Vermessung der Erde zuständig. Mit Satelliten erfassen sie rund um die Erde Veränderungen der Erdanziehung. Aus diesen Daten berechnen sie zum Beispiel die weltweite Normal-Null-Höhe, das sogenannte Geoid; das ist eine globale Bezugsgröße, auf der die gesamte Navigation im Flugverkehr beruht und auf die sich die Messung von Ebbe und Flut bezieht. Außerdem ermöglichen die Satellitendaten detaillierte Informationen über Prozesse und Massenverlagerungen in Bereichen des Erdinneren – viel genauer als mit Bohrungen.

Vom Mittelpunkt der Erde bis zum Magnetfeld, das weit in den Weltraum reicht: Geowissenschaftler wollen Zusammenhänge und Prozesse im System Erde verstehen. Wie wirkt der Mensch auf die Erde ein? Wie verändert sich die Natur von sich aus? Die Antworten auf solche Fragen eröffnen die Möglichkeit, die Erde zu schützen und auch zukünftig lebenswert zu erhalten.



## Impressum

**Herausgeber**  
Bundesministerium für Bildung  
und Forschung (BMBF)

**Konzept, Redaktion und Gestaltung**  
**iserundschmidt**  
Kreativagentur für PublicRelations GmbH  
Bad Honnef - Berlin

**Autor**  
Horst Rademacher

### Allgemeine Informationen zum Jahr der Geowissenschaften

BMBF Pressestelle  
Hannoversche Str. 28-30  
10115 Berlin  
Tel. 030 - 28 540 - 5050  
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  
Markgrafenstraße 37  
10117 Berlin  
Tel. 030 - 20 64 92 - 00  
Fax 030 - 20 64 92 - 05  
info@wissenschaft-im-dialog.de

## Bildquellen

Advanced Computing Laboratory, Los Alamos National Laboratory	6/7	F. Graeber, GeoForschungsZentrum Potsdam 1995	8
Stiftung Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung	14, 15, 22, 27	H. Grosser, GeoForschungsZentrum Potsdam	13
Astrium 4/2000	11	Institut für Geophysik, Georg-August Universität Göttingen	13
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt	4/5, 25	J. Klotz, GeoForschungsZentrum Potsdam	3, 4
Volker Diekamp, Universität Bremen	23	National Aeronautics & Space Administration	9, 21, 24
European Space Agency	19	National Oceanic and Atmospheric Administration	16
Deutsches Klimarechenzentrum	22/23	Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, University of Miami	16
Forschungszentrum Karlsruhe	11	Franz Ossing, GeoForschungsZentrum Potsdam	18/19, 19
Fraunhofer-Institut für Atmosphärische Umweltforschung	21	Schallreuter, Gesellschaft für Geschiebekunde	17
GeoForschungsZentrum Potsdam	6, 10 (2x)	Naturmuseum Senckenberg, Frankfurt/Main	13
GeoForschungsZentrum Potsdam, KTB-Archiv	12	Hansjörg Streif, NLF Hannover	16
GEOMAR	17	T. Woyke	20
Albert Gerdes, Forschungszentrum Ozeanränder, Universität Bremen	8, 9, 16, 27	B. Zolitscka, GeoForschungsZentrum Potsdam	9
Gary A. Glatzmaier, Earth Sciences Department, University of California, Santa Cruz	11		

## Ausgewählte Internetadressen:

Bundesministerium für Bildung und Forschung  
[www.bmbf.de](http://www.bmbf.de)

Wissenschaft im Dialog  
[www.wissenschaft-im-dialog.de](http://www.wissenschaft-im-dialog.de)

Stiftung Alfred-Wegener-Institut für Meeres- und Polarforschung Bremerhaven  
[www.awi-bremerhaven.de](http://www.awi-bremerhaven.de)

Alfred-Wegener-Stiftung zur Förderung der Geowissenschaften  
[www.aw-stiftung.de](http://www.aw-stiftung.de)

Bayerisches Forschungsinstitut für Experimentelle  
Geochemie und Geophysik der Universität Bayreuth  
[www.bgi.uni-bayreuth.de](http://www.bgi.uni-bayreuth.de)

Deutsches Klimarechenzentrum Hamburg  
[www.dkrz.de](http://www.dkrz.de)

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)  
[www.dlr.de](http://www.dlr.de)

Forschungsinstitut und Naturmuseum Senckenberg  
[www.senckenberg.de](http://www.senckenberg.de)

GeoForschungsZentrum Potsdam  
[www.gfz-potsdam.de](http://www.gfz-potsdam.de)

GEOMAR Forschungszentrum für marine Geowissenschaften der  
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel  
[www.geomar.de](http://www.geomar.de)

GEOZENTRUM HANNOVER/  
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe  
[www.bgr.de](http://www.bgr.de)

Fraunhofer Institut für atmosphärische Umweltforschung  
[www.ifu.fhg.de](http://www.ifu.fhg.de)

Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle  
[www.ufz.de](http://www.ufz.de)

Zentrum für Marine Umweltwissenschaften Bremen  
[www.marum.de](http://www.marum.de)

[www.planeterde.de](http://www.planeterde.de)

Medienpartner:

