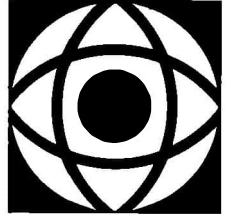


HANS KLEFFE



Rätsel der Erde und des Weltalls



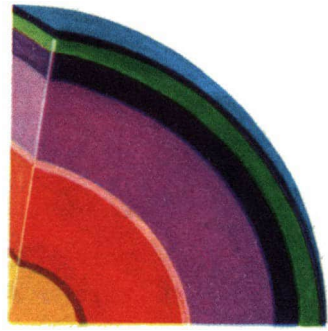
*Der große Ausbruch
des Vesuvius
am 22. Oktober 1822*





Wir erforschen die Natur

Hans Kleffe
Rätsel
der Erde



und des Weltalls

Illustrationen von
Günter Wongel

Der Kinderbuchverlag
Berlin

Von Erdbeben und Vulkanen

Was ist ein Erdbeben?

Es war am späten Abend des 6. Mai 1976, als plötzlich in manchen Hochhäusern Berlins, Leipzigs und anderer Städte die Lampen leicht zu schaukeln begannen. Angelehnte Türen gingen von selbst ein Stück auf oder zu, ohne daß ein Windstoß ins Zimmer gefahren war. Gläser klirrten. Bilder an der Wand verrutschten ein wenig. Dann war alles wieder ruhig. Die Leute schüttelten verwundert den Kopf. Was war das?

Am nächsten Morgen hörte man es im Rundfunk und las es in den Zeitungen: Etwa 700 Kilometer entfernt, in der norditalienischen Landschaft Friuli, hatte sich ein starkes Erdbeben ereignet. Seine Fernwirkungen reichten bis in die Deutsche Demokratische Republik und andere mitteleuropäische Länder. Die Bewohner der DDR kamen, sofern sie überhaupt etwas bemerkten, mit dem Verwundern darüber davon, daß Erdbeben noch auf so weite Entfernungen Gebäude in leichte Schwingungen versetzen können. Die meisten von ihnen hatten zum ersten Mal in ihrem Leben eine direkte Bekanntschaft mit dem Naturereignis Erdbeben gemacht.

Für uns war es ein völlig harmloses und ungefährliches Erlebnis, nicht so für die Menschen, die im Erdbebengebiet lebten. Dort erzitterte der Boden so stark, daß unter Donnern und Krachen Häuser einstürzten. Viele Bewohner konnten sich nicht rechtzeitig ins Freie retten und wurden unter den Trümmern begraben. Von den Berghängen wälzten sich Geröllmassen und wirbelten gewaltige Staubwolken auf. Die Wasserleitungen im Boden barsten, die Elektrizitätskabel rissen. Feuer brachen aus. Tagelang suchte man unter den Trümmern nach Überlebenden. Manche konnten schwerverletzt geborgen werden, für andere kam jede Hilfe zu spät. Nach Tagen erschütterten neue Erdstöße das Gebiet von Friuli, und viele der inzwischen notdürftig wiederhergerichteten Häuser stürzten vollends ein. Insgesamt wurden etwa 1000 Menschen getötet und in 30 Städten und Dörfern rund 20000 Häuser zerstört. 150000 Obdachlose mußten in Zelten kampieren.

Erdbeben dauern nur Sekunden bis wenige Minuten. Aber in dieser kurzen Zeit entstehen schwere Verwüstungen. 1906 wurde die an der Westküste der Vereinigten Staaten von Amerika gelegene Stadt San Francisco durch ein Beben und eine dadurch ausbrechende Feuersbrunst zerstört. Vor und nach dem Hauptbeben treten häufig mehrere schwächere Erdstöße auf. Die Wissenschaftler messen die Stärke jedes Erdbebens und geben sie in einer Maßzahl an. Es gibt auf der Erde mehr als 1000 Beobachtungsstationen. Dort stehen Seismo-

graphen genannte Meßgeräte, die auf feinste Schwingungen der Erdkruste reagieren. Solche Schwingungen breiten sich vom Zentrum eines Erdbebens über Tausende von Kilometern nach allen Richtungen aus. Die Wissenschaftler können dadurch auch Erdbeben feststellen, die sich in unbewohnten Gebieten ereignen.

Zählt man alle schwächsten Beben mit – die der Mensch selbst dann nicht empfindet, wenn er sich am Erdbebenort aufhält, sondern die nur von den hochempfindlichen Instrumenten registriert werden –, so sind es im Jahresdurchschnitt über 1 Million. Rechnet man nur alle Beben, die auch ohne Seismographen als leichtes Erzittern des Bodens zu verspüren sind, aber noch keinen Schaden anrichten, so kommt man auf jährlich etwa 50 000, also täglich über 130. Beben, die – je nach den örtlichen Bedingungen – schon erhebliche Schäden an Gebäuden verursachen können, gibt es durchschnittlich etwa 24 im Jahr, sehr schwere bis schwerste im langfristigen Jahresdurchschnitt 2. Während einzelner Jahre können es freilich auch weniger oder mehr sein. In manchen Gebieten ereignen sich schwächere Beben in fast jeder Woche oder sogar täglich. Die dort wohnenden Menschen haben sich daran gewöhnt und nehmen sie so gelassen hin wie wir einen Regenguß. Aber sie sind nie davor sicher, daß eines Tages ein starkes Beben stattfindet, welches ihre Häuser zerstört und ihr Leben bedroht.

Seit 1755 sind etwa 1 Million Menschen durch Erdbeben ums Leben gekommen. In dem genannten Jahr zerstörte ein sehr schweres Beben die portugiesische Hauptstadt Lisboa (Lissabon). Das opferreichste Beben unseres Jahrhunderts war das von Qilianshan in China 1927. Dabei starben 200 000 Menschen. Vielleicht wurde es 1976 durch die Katastrophe von Tangshan in der Nähe der chinesischen Hauptstadt Peking noch übertroffen. Wir wissen es nicht, weil die chinesische Regierung keine Zahlen veröffentlicht hat.

Wie entstehen solche Naturkatastrophen? Eine erste Antwort lautet: Die meisten Erdbeben sind Begleiterscheinungen der Bildung junger Gebirge.

Gab es die heutigen Gebirge schon immer?

Über 90 Prozent aller Erdbeben werden in der Fachsprache der Geologen als tektonische Beben bezeichnet. Die Geologie ist die Wissenschaft vom Bau, von der Zusammensetzung und der Entwicklung der Erde, insbesondere der Erdkruste. In dem Wort *tektonisch* ist die gleiche Silbe wie in *Architekt* enthalten. Nach den Entwürfen und Zeichnungen eines Architekten werden

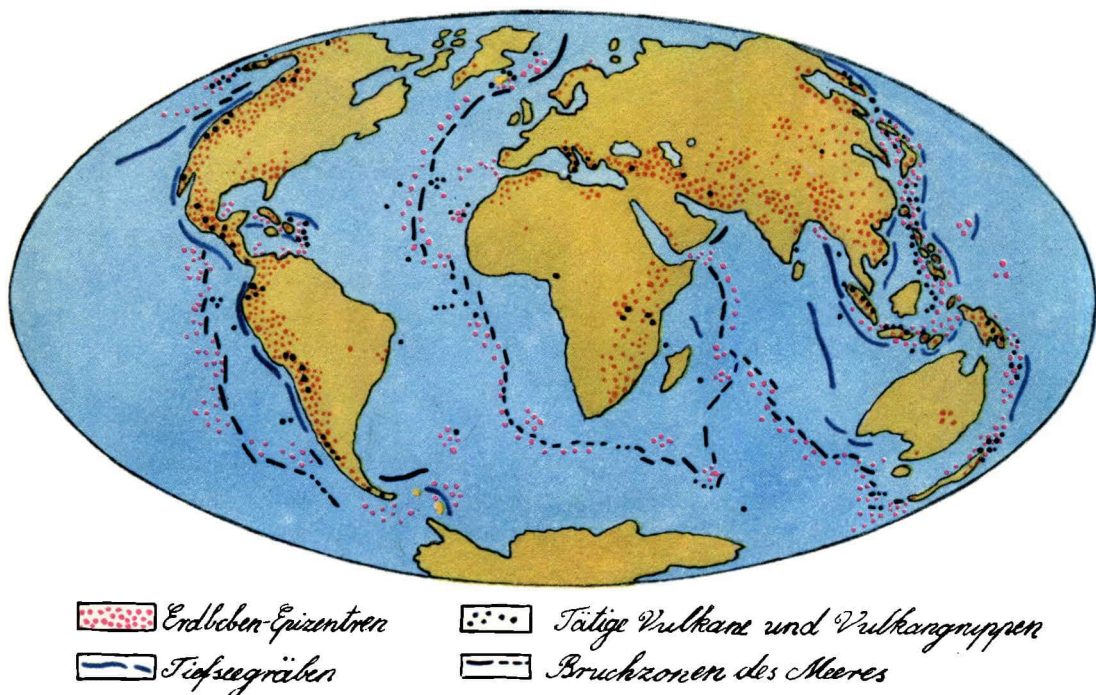
Durch Erdbeben werden schwere Zerstörungen verursacht



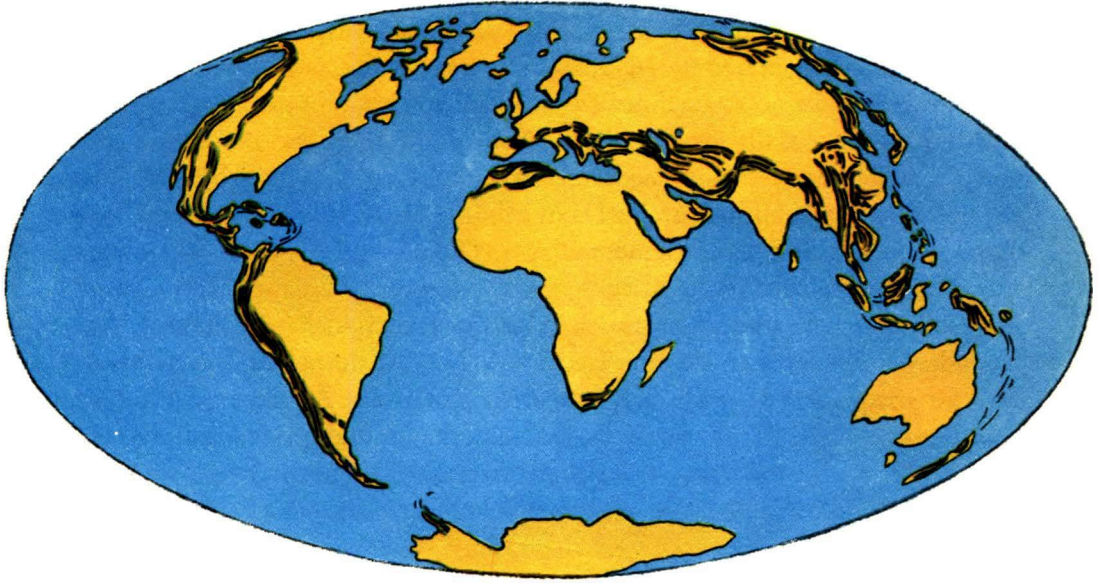
Gebäude errichtet. Auch die Erdoberfläche mit ihren Festländern und Ozeanen, ihren Gebirgen und Tiefebeneen befindet sich ständig im Bau, besser gesagt: im Umbau. Nur erfolgt dieser Vorgang nicht nach einem Plan und unvergleichlich langsamer als das Errichten von Häusern und Städten. Erdbeben ereignen sich überall, wo ein Umbau der Erdkruste im Gange ist.

Auch die Gebirge, die uns unveränderlich erscheinen, weil wir im Verlaufe eines Menschenlebens keine Veränderungen an ihnen feststellen können, gab es nicht vom Beginn der Erdgeschichte an. Manche sind erst vor „kurzer“ Zeit entstanden. Die Geologen bezeichnen sie daher als jung, obwohl sie viele Millionen Jahre alt sind. So entstanden zum Beispiel die Alpen und der Himalaja, zu dem der höchste Berg der Erde, der 8848 Meter hohe Tschomolungma gehört, erst in den jüngsten 50 Millionen Jahren. Für die Maßstäbe des Lebens eines Menschen ist das eine sehr lange Zeit, aber für die Geschichte der Erde nur eine ganz kurze. Denn unser Planet existiert seit mindestens 4,5 Milliarden Jahren. (1 Milliarde sind 1000 Millionen!)

Es gibt auch alte Gebirge. Sie wurden inzwischen durch Wind und Wasser weitgehend abgetragen, so daß nur noch ihre „Wurzeln“ und Rumpfe vorhanden sind. Die Mittelgebirge der DDR gehören dazu. Ihre Abtragung erfolgt seit unvorstellbar langer Zeit. Wasser setzt sich zwischen Risse und



Weltkarte der Erdbeben- und Vulkangebiete. Epizentren nennt man die Stellen der Erdoberfläche, die senkrecht über dem in der Tiefe der Erde befindlichen Bebenherd liegen



Die braun markierten Gebiete kennzeichnen die jungen Hochgebirge der Erde

Spalten sowie in feine Poren des Gesteins und zersprengt es beim Gefrieren. Denn Wasser dehnt sich aus, wenn es zu Eis wird. Der zu feinen Teilchen zerkleinerte Fels wird vom Wind verweht und vom Wasser fortgespült. Über die Flüsse gelangt er in die Meere und Ozeane und lagert sich dort in dicken Schichten am Meeresboden ab.

Genaugenommen finden das Entstehen und Abtragen eines Gebirges stets gleichzeitig statt. Es ist nur die Frage, was von beiden überwiegt. So werden zum Beispiel die Alpen derzeit schon stärker abgetragen als emporgehoben. Ist das „Wachstum“ eines Gebirges zum Stillstand gekommen, so gibt es nur noch eine Abtragung. Freilich wachsen Gebirge nicht so wie Bäume. Ihr Entstehen ist vielmehr ein rein physikalischer Vorgang, den wir später noch etwas genauer betrachten werden.

Wenn man den Ort jedes Erdbebens auf der Weltkarte durch einen Punkt markiert, dann zeigt sich eine Häufung dieser Punkte in bestimmten Zonen der Erde. Ein solcher Beben Gürtel umrahmt den Pazifik, wie der Stille Ozean auch heißt. Ein anderer erstreckt sich von den Alpen über den Balkan, den Kaukasus, Kleinasien, den Iran und den mächtigen Himalaja bis nach Südostasien. Die Karte zeigt Erdbeben Gürtel aber auch inmitten der Ozeane. Einer zieht sich in nordsüdlicher Richtung durch den Atlantik (Atlantischen Ozean). Dort finden viele Beben auf dem Meeresgrund statt, ebenso wie in den Beben Gürteln des Pazifiks. Sie verursachen riesige Wasserwogen, die sich über Tausende von Kilometern bis zu den Küsten der angrenzenden Kontinente ausbreiten.

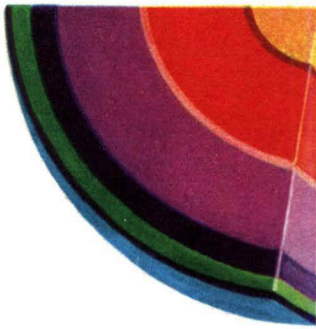
Auf dieser Erdbebenkarte fällt auf, daß die Erdbebengebiete hauptsächlich in den Hochgebirgen und deren Umgebung liegen. Auch die Beugungsbänder der Ozeane bilden keine Ausnahme davon. Denn dort befinden sich auf dem Meeresgrund ebenfalls große, um 2000 bis 4000 Meter hohe Gebirge. An einigen Stellen erheben sich die langgestreckten Gebirgsketten bis über den Meeresspiegel und bilden Inseln. Dazu gehören im Atlantik zum Beispiel die Azoren, Island und viele kleinere Inseln. Die riesigen Unterwassergebirge nennt man mittelozeanische Rücken. Sie wurden erst in neuester Zeit genauer erforscht. Deshalb sind sie in manchen Atlanten noch nicht verzeichnet. Aneinandergereiht ergeben sie eine Kette von 84700 Kilometern Länge. Diese Strecke entspricht mehr als der doppelten Länge des Äquators. Sie bilden somit das größte Gebirgssystem der Erde überhaupt und bedecken einen sehr großen Teil der Erdoberfläche beziehungsweise des Ozeanbodens.

Wie aber entstehen Gebirge, und warum kommt es dabei zu Erdbeben? Die Ursachen sind Vorgänge im Innern der Erde.

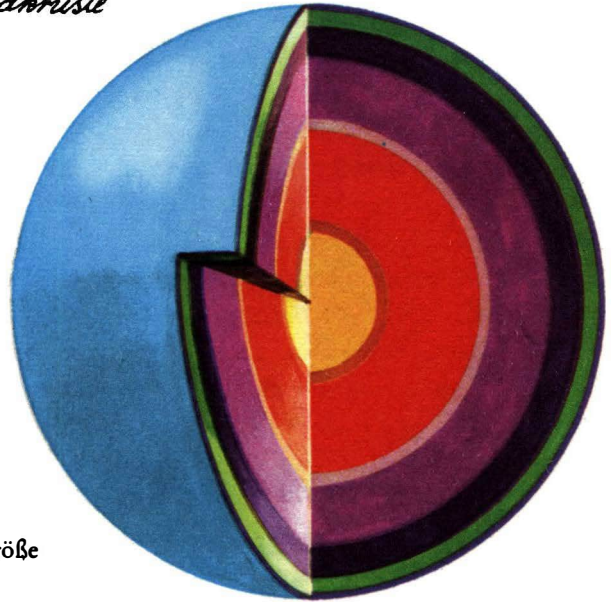
Wie sieht es im Innern der Erde aus?

Bohren wir in Gedanken ein Loch von der Erdoberfläche bis zum Mittelpunkt der Erdkugel, also bis in 6367 Kilometer Tiefe! (In Wirklichkeit kann man so tief nicht bohren, sondern nur bis etwa 10 Kilometer.) Zuerst müßten wir die äußerste Hülle der Erdkugel durchstoßen. Sie heißt Erdkruste und ist mit der Schale eines Eies vergleichbar. An den Stellen der Erdoberfläche, an denen sich die Festländer, die Kontinente, befinden, ist sie 30 bis 70 Kilometer dick, unter den Meeresböden der Ozeane nur 8 bis 15 Kilometer. Im Vergleich zu dem rund 250mal größeren Durchmesser der Erde ist sie tatsächlich so dünn wie eine Eierschale. Unter der Kruste befindet sich der obere Erdmantel. Er reicht bis in etwa 400 Kilometer Tiefe. Nach einer Übergangszone treffen wir dann in ungefähr 900 Kilometer Tiefe auf den inneren Erdmantel und erst nach insgesamt 2900 Kilometern auf den Erdkern. Dieser gliedert sich in einen äußeren und einen inneren. Alle diese Erkenntnisse gehen auf das genaue Beobachten von Schwingungen zurück, die sich durch die gesamte Erdkugel ausbreiten.

Die verschiedenen „Schalen“, aus denen sich die Erde ähnlich wie eine Zwiebel aufbaut, sind unterschiedlich beschaffen. Für die Erklärung der Erdbeben interessieren uns hauptsächlich die Eigenschaften der Kruste und des Mantels. Im Innern der Erde ist es sehr heiß. Schon in 100 Kilometer Tiefe herrschen mindestens 1000 Grad Celsius, und mit größerer Tiefe steigt die Temperatur noch höher. An der Erdoberfläche würden sich bei dieser Hitze alle Gesteine in einen glutflüssigen Brei verwandeln. Tatsächlich quillt bei Vul-



Innen Kern
Übergangszone
Außen Kern
Mantel Kern-Grenze
Innen Mantel
Übergangszone
Außen Mantel
Erdkruste



Die Erde ist aus mehreren
 „Schalen“ mit unterschiedlichen
 Eigenschaften aufgebaut.
 Die „Haut“ unseres Planeten,
 die Erdkruste, ist im Vergleich zur Größe
 der Erde so dünn wie eine Eierschale

kanausbrüchen heißer Gesteinsbrei aus dem Erdmantel hervor und ergießt sich in die Umgebung.

Doch im Erdmantel lastet auf dem heißen Gestein das gigantische Gewicht der Erdkruste. Dadurch wird es sehr fest zusammengedrückt. Man kann es mit Gletschereis vergleichen. Eis ist zwar ein fester Körper, aber trotzdem etwas fließfähig. Auch das Magma genannte heiße Gesteinsmaterial in der Tiefe ist in langsamer Bewegung.

Schauen wir einmal in einen Topf voll Wasser, der auf dem Herd über der Flamme steht! Wenn es siedet, brodelt ständig Wasser vom Boden des Topfes nach oben, kühlt sich dort ab und sinkt wieder nach unten. In der Nähe des Bodens erhitzt es sich erneut und steigt wiederum auf. Die Wärme erzeugt eine Strömung, die man Konvektion nennt. Sie beruht darauf, daß heißes Wasser leichter ist als kälteres. Das leichtere Wasser strebt stets nach oben, das kältere,

schwerere sinkt. Auch warme Luft steigt auf und kalte sinkt. Darum ist die Luft unter der Decke des Zimmers am wärmsten und über dem Fußboden am kältesten.

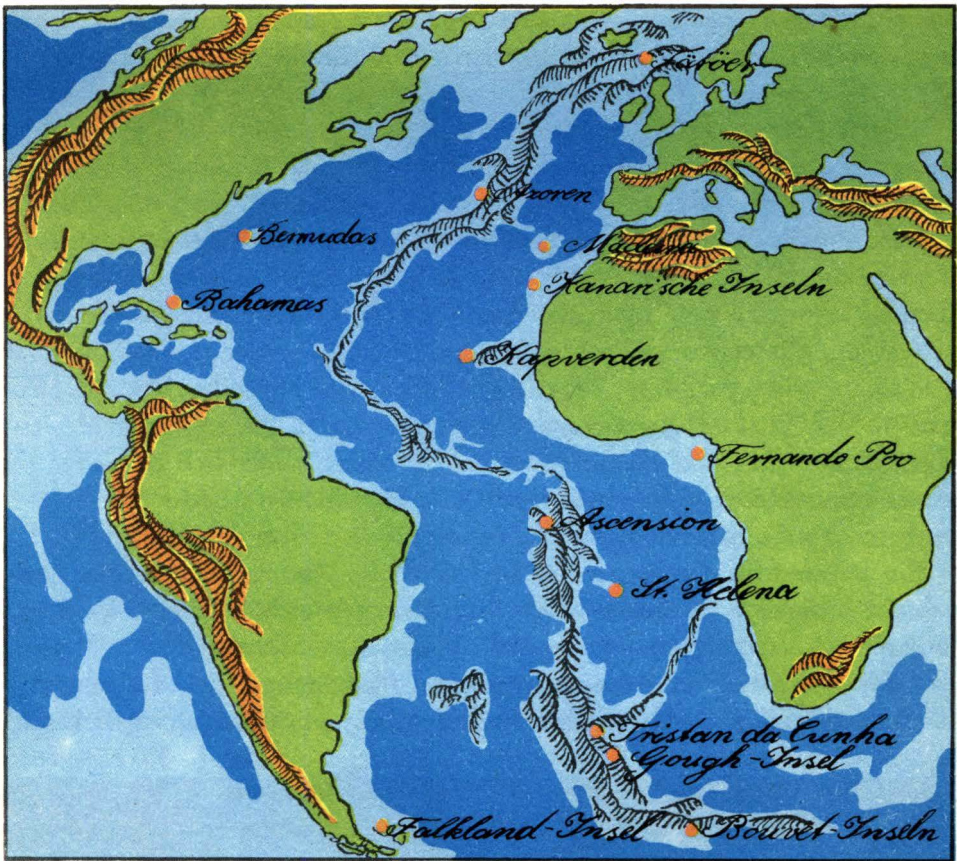
Etwas Vergleichbares spielt sich in den gewaltigen Magmamassen des oberen Erdmantels ab. Nur erfolgt die Konvektion dort viel langsamer, weil das Magma sehr zäh fließt. Ganz langsam steigen riesige Massen aus der Tiefe, kriechen unter der Erdkruste hinweg und sinken an anderer Stelle wieder zurück in die Tiefe. Der Erdmantel ist also kein fester, sondern ein unruhiger Untergrund. Auf ihm „schwimmt“ die feste Erdkruste. Dabei üben die Magmaströme gigantische Kräfte auf die Kruste aus. Sie heben sie an manchen Stellen langsam an, an anderen lassen sie die Kruste absinken.

Schon allein dadurch kann sich das Bild der Erdoberfläche grundlegend verändern. Beim Absinken wird Festland von Wasser überspült und zu Meeresboden. Auch weite Teile des heutigen Mitteleuropas waren in früheren Zeiten von Wasser bedeckt. Umgekehrt verwandelt sich Meeresboden durch Hebungen wieder in Festland. Hebungen und Senkungen sind in Europa heute noch im Gange. Beispielsweise hebt sich Skandinavien. Gebiete der DDR und anderer Ostseeländer senken sich mit Geschwindigkeiten zwischen durchschnittlich 0,5 und 4,5 Millimeter im Jahr.

Magmaströmungen des Erdmantels können Teile der Erdkruste aber auch in langsame waagerechte Bewegung versetzen. An Stellen, wo die Erdkruste vielleicht schon vorher einen etwas schwächeren Zusammenhalt hatte, kann sie dadurch zerbrechen. Anfangs ist die Bruchzone nur eine schmale, tiefe Einsenkung, wie der Oberrheintalgraben oder das langgestreckte ostafrikanische Grabensystem, das sich von den in Nord-Süd-Richtung verlaufenden großen Seen bis zum Roten Meer und weiter bis in das Jordantal und den Libanon erstreckt.

In einem späteren Stadium verbreitert sich der Graben so, daß Wasser aus dem Ozean in die Vertiefung eindringt und ein neues Meer zwischen den ursprünglich zusammenhängenden Teilen der Erdkruste entsteht. Ein Beispiel dafür ist das Rote Meer zwischen Arabien und Ostafrika. Viele Geologen vermuten, daß es sich künftig noch mehr verbreitern und dabei Afrika und Arabien weiter auseinandertreiben wird.

Eine stärker fortgeschrittene Phase dieses Vorgangs finden wir im Atlantik. Mitten durch sein langgestrecktes Unterwassergebirge zieht sich eine Vertiefung, Zentralspalte genannt. Dort ist die Erdkruste so tief durchbrochen, daß ständig Magmamassen aus dem Erdmantel empordringen. Dabei kühlen sie ab, erstarren und häufen sich beiderseits der Spalte zu jenem mittelozeanischen Rücken an. Immer mehr Magma dringt durch die Spalte nach, fließt über und schiebt sich seitwärts weiter vor. So „wächst“ neuer Ozeanboden, und es entstehen große Teile neuer Erdkruste. Sie schieben die alten, ursprüng-



Durch den Atlantik zieht sich in Nord-Süd-Richtung ein langgestrecktes Unterwassergebirge am Meeresgrund

lich zusammenhängenden Teile der Kruste vor sich her und treiben sie dadurch immer weiter auseinander. So entstand der Meeresboden des Atlantiks.

Die meisten Geologen sind inzwischen davon überzeugt, daß es diesen Ozean vor 150 Millionen Jahren noch nicht gab, sondern Amerika, Europa und Afrika eine zusammenhängende Landmasse bildeten, die erst durch die Entstehung des Atlantiks auseinandergetrieben wurden. Durch neuere Messungen weiß man, daß sich Europa und Nordamerika auch jetzt noch voneinander entfernen. Der Atlantik „wächst“ also weiter in die Breite.

Geologisch betrachtet, kann man die gesamte Erdoberfläche in einige große und viele kleine Schollen gliedern, die man Geplatten oder kurz Platten nennt. Sie werden durch die Zentralspalten der mittelozeanischen Rücken und andere Bruchzonen der Erde begrenzt. Die Platten befinden sich in langsamer Bewegung. Sie beträgt nur 1 bis höchstens 12 Zentimeter im Jahr. Eine Platte kann zu verschiedenen Zeiten der Erdgeschichte unterschiedlich schnell drif-

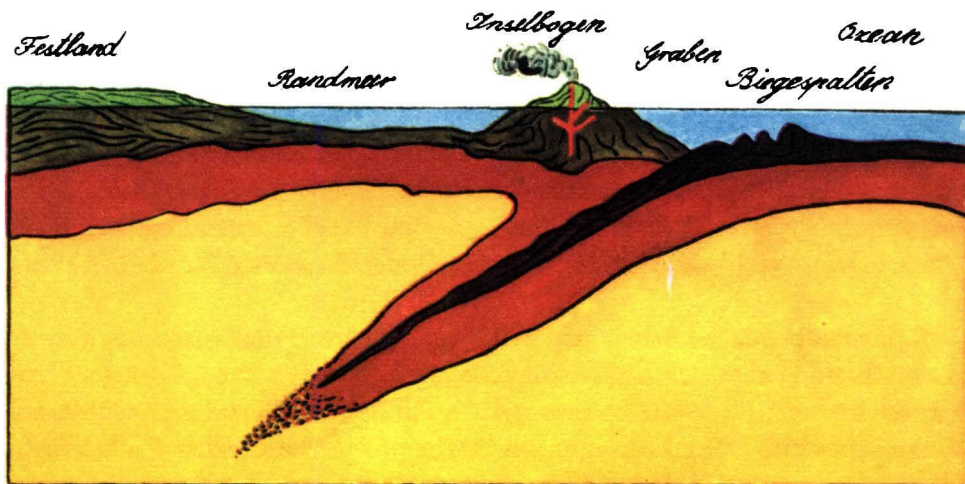
ten. Aber schon eine Geschwindigkeit von nur 5 Zentimetern im Jahr reichte aus, daß die Platte in 100 Millionen Jahren 5000 Kilometer weit wandert, falls die Drift unverändert in gleicher Richtung anhält.

Wenn in der geschilderten Weise laufend neue Erdkruste gebildet wird, so müssen zum Ausgleich an anderer Stelle ältere Teile der Erdkruste in den Erdmantel versinken und eingeschmolzen werden. Andernfalls vergrößerte sich ja die Erdoberfläche und mithin der Durchmesser unseres Planeten, und das ist – soviel wir bisher wissen – aber nicht der Fall. Der Ausgleich erfolgt vielmehr, indem sich der Rand mancher Geoplaten unter den einer anderen schiebt. So entsteht vor der angrenzenden Platte eine besondere Vertiefung der Erdkruste, ein sogenannter Tiefsee graben. Das ist ein besonders tiefes Meeresgebiet. Der Rand der angrenzenden Platte wird beim Unterschieben der anderen aufgewölbt und zusammengestaucht. Dabei bildet sich entweder ein neues Hochgebirge, oder es hebt sich der Meeresboden jenseits des Tiefsee grabens so weit, daß eine Kette von Inseln aus dem Meer emportaucht.

Ein Beispiel für den ersten Fall finden wir im Westen Südamerikas. Dort schiebt sich eine pazifische Platte unter die, welche Südamerika trägt. Während dieses Vorgangs entstanden vor der Küste des Kontinents Tiefsee graben, und am Rand der amerikanischen Platte faltete sich das mächtige Andengebirge auf. Der zweite Fall ist im Seegebiet vor Ostasien verwirklicht.



Die Erdkruste gliedert sich in einige große und mehrere kleine Platten. Die Karte zeigt die großen Platten. Sie decken sich nicht mit den Umrissen der Kontinente, sondern umfassen meist Teile der Kontinente und Ozeane



Wenn sich der Rand einer Platte unter den Rand der angrenzenden Platte schiebt, entstehen ein Tiefseegraben und eine Inselkette (oder ein junges Gebirge)

Dort schiebt sich eine pazifische Platte unter die, welche Asien und Europa trägt. Dabei entstanden ebenfalls Tiefseegräben und die Ostasien vorge-lagerten Inselketten, zu denen auch die japanischen Inseln gehören. Im Marianengraben wurde die größte bisher bekannte Meerestiefe gemessen. Sie beträgt 11 034 Meter.

Vergleichen wir die Karte der Geoplaten mit der der Erdbebengürtel, so können wir eine große Übereinstimmung feststellen: In allen Gebieten entlang den Plattengrenzen ereignen sich besonders viele Erdbeben und – wie wir später noch lesen werden – auch Vulkanausbrüche. Ozeane können auf die bereits geschilderte Weise nicht nur entstehen, sondern durch driftende Platten auch wieder zusammengedrängt werden und schließlich ganz verschwinden. Dieses Schicksal sagen die Geologen für eine ferne Zukunft dem Mittelmeer voraus. Denn Europa und Afrika treiben aufeinander zu. Das heutige Mittelmeer ist lediglich der Rest der ursprünglich sehr viel größeren Tethys-See.

Warum stürzen bei Erdbeben Häuser ein?

Jetzt können wir die an früherer Stelle gegebene vorläufige Antwort auf die Frage, wie Erdbeben entstehen, genauer formulieren: Sie ereignen sich im Gefolge der Lageveränderungen von Teilen der Erdkruste. Das wollen wir uns durch einen Vergleich veranschaulichen, der freilich wie die meisten Vergleiche die Vorgänge nur ungefähr wiedergibt. Wenn wir zwei Hartgummiplatten gegeneinanderschieben, entstehen in der Zone, in der sie sich berühren, zu-

nächst nur geringe Spannungen. Denn der Gummi ist etwas elastisch und daher zusammendrückbar. Schieben wir sie aber immer weiter zusammen, wachsen in gleichem Maße Spannungen, bis die Platten plötzlich ruckartig in eine neue Lage schnellen, in der sie wieder entspannt sind. Das gleiche geschieht, wenn sie nicht gegeneinanderdrücken, sondern wie zwei Schiffe sich in entgegengesetzte Richtungen bewegen und dabei aneinanderschrammen. Zum Beispiel verhalten sich zwei Platten an der Westküste Nordamerikas in dieser Weise.

Beim Erdbeben schnellen also Teile der Erdkruste ruckartig in eine neue Lage. Es sind hauptsächlich Krustenteile, die sich in den Randzonen der Geoplaten befinden. Ihre Lageänderung vollzieht sich nacheinander in sehr vielen einzelnen kleinen Ruckbewegungen. Daher wiederholen sich Erdbeben in diesen Gebieten im Verlaufe der Jahre, Jahrhunderte und Jahrtausende immer wieder. Dabei müssen sich die Beben nicht immer wieder an genau demselben Punkt abspielen, sie können sich vielmehr an verschiedenen Orten derselben Region ereignen. Das eigentliche Zentrum eines Erdbebens liegt sowieso nicht an der Erdoberfläche, sondern in mehr oder weniger großer Tiefe. Das Beben wirkt sich aber bis an die Oberfläche aus. Den Punkt, der an der Erdoberfläche senkrecht über dem in der Tiefe befindlichen Herd liegt, nennt man Epizentrum.

Warum stürzen bei einem Erdbeben Häuser ein? Das können wir uns durch ein Gedankenexperiment klarmachen. Wir legen ein Stück Pappe auf den Tisch und errichten auf dieser Unterlage ein Haus aus Spielzeug-Bauklötzen. Jetzt verschieben wir ruckartig die Pappe. Dabei gerät das Haus ins Schwanzen oder stürzt ein. Nicht anders ergeht es den von Menschen bewohnten Häusern bei einem starken Erdbeben. Nun wird mancher einwenden, daß das Haus in unserem Experiment aus nur lose aufeinandergelegten Klötzen besteht, während richtige Häuser aus fest miteinander verbundenen Bauteilen errichtet sind. Dieser Einwand ist jedoch falsch.

Die Kraft, die bei einem Beben auf das Bauwerk einwirkt, errechnet sich nämlich durch Multiplikation der Beschleunigung mit der Masse. Die Beschleunigung wollen wir hier vereinfacht als Zu- oder Abnahme einer Geschwindigkeit bezeichnen. Bei einem Erdstoß wird die Erdkruste und mit ihr das Gebäude ja von der Geschwindigkeit Null, also dem Stillstand, ruckartig in eine bestimmte Geschwindigkeit versetzt und, umgekehrt, auch wieder ruckartig abgebremst, wenn die Bewegung des Untergrundes aufhört.

Das Haus aus Bauklötzen hat eine Masse von nur wenigen Gramm, ein großes Haus aus Steinen jedoch eine von Hunderten oder Tausenden von Tonnen. (1 Tonne sind 1000 Kilogramm.) Da sich die Größe der einwirkenden Kraft durch Multiplikation von Beschleunigung mit Masse errechnet, nimmt die Kraft, die beim stoßartigen Verrücken der Erdoberfläche auf das Gebäude

einwirkt, im gleichen Maße zu, in dem das Bauwerk schwerer als unser Haus aus Bauklötzen ist. Darum hat der angestellte Vergleich eine Berechtigung. Für das Einstürzen der Häuser spielen allerdings noch weitere Faktoren eine Rolle, deren Schilderung hier aber zu weit führen würde.

Kann man Erdbeben vorhersagen?

Wenn wir einen trockenen Ast biegen, entstehen in den Fasern des Holzes zunächst nur Spannungen und Stauchungen. Biegen wir weiter, werden sie schließlich so groß, daß er bricht. Doch es ist nicht genau vorherzusagen, wann der Bruch eintreten wird. Beim Ast ist das eine Frage von Sekunden oder Zehntelsekunden. Bei den Spannungen in der Erdkruste gelten wiederum viel größere Zeitmaßstäbe. Aber gerade deshalb kann man Anzeichen des allmählichen Anwachsens der Spannungen bereits lange vor dem Erdbeben feststellen. Das ermöglicht Vorhersagen. Leider sind sie bisher noch nicht so genau, daß man vielleicht den Tag nennen könnte, an dem das Naturereignis eintrifft. Es sind schon Vorzeichen von Beben registriert worden, die dann erst nach einigen Jahrzehnten stattgefunden haben. Welcher Art sind solche Anzeichen?

Mit zunehmender Spannung bilden sich in der Erdkruste unzählige winzig feine Risse. Jeder Riß für sich allein ist nur ein kleiner Hohlraum, alle zusammen genommen bilden jedoch einen großen. In die Risse dringt Wasser aus der Tiefe ein und mit ihm ganz geringfügige Mengen eines Radon genannten Gases. Dieses sendet Strahlen aus, die zwar unsichtbar sind, aber mit geeigneten Instrumenten gemessen werden können. Bohrt man tiefe Löcher in die Erde, so ist eine erhöhte Strahlung des Tiefenwassers feststellbar, sobald sich Risse in der Erdkruste mit ihm angereichert haben. Außerdem tritt von diesem Gas etwas mehr als sonst direkt an der Erdoberfläche aus.

Es gibt noch andere Anzeichen, die Erdbeben vorangehen: Da sich die feinen Risse mit Wasser füllen und dieses elektrischen Strom besser leitet als die festen Stoffe des Bodens, erhöht sich dessen Leitfähigkeit ein wenig. Auch die Ausbreitung sogenannter seismischer Wellen, die durch kleine Explosionen künstlich zu erzeugen sind, ändert sich. Denn die vielen feinen Risse haben das Gefüge des Gesteins etwas aufgelockert. Das äußert sich unter anderem in einer leichten Aufwölbung des Erdbodens, die allerdings auf einer Fläche von vielen Quadratkilometern nur einige wenige Zentimeter groß ist. Es gibt aber heute hochpräzise Instrumente, mit denen geringfügigste Neigungen des Bodens zu messen sind!

Wie schon erwähnt, sagen diese Vorzeichen nichts über den genauen Zeitpunkt aus, zu dem das bevorstehende Beben stattfinden wird. Man kann je-

doch nicht ganze Städte und Provinzen monate- oder jahrelang in ständigem Erdbebenalarm halten, dabei alle Kraftwerke und anderen Betriebe vorsorglich stilllegen und die Bewohner auffordern, ihre Häuser zu verlassen und sich im Freien aufzuhalten. Durch eine derart lange Unterbrechung des normalen Lebens und der Produktionstätigkeit entstünde ein größerer materieller Schaden als durch ein Erdbeben.

Nun gibt es einige Anzeichen, die meist erst ganz kurzzeitig vor dem Beben eintreten. Auf sie verlassen kann man sich aber gleichfalls nicht. Außerdem wäre für die ständige Überwachung solcher Vorzeichen ein dichtes Netz von Beobachtungsstationen mit teuren Instrumenten erforderlich. Diese Stationen müßten in Abständen von höchstens 10 Kilometern errichtet werden. Kaum eines der am stärksten erdbebengefährdeten Länder ist imstande, die hohen Kosten dafür aufzubringen. So ist das Problem der Vorhersage nur sehr schwer zu lösen.

Der Schutz der Menschen muß sich daher hauptsächlich darauf erstrecken, die Häuser in den betreffenden Gebieten so zu bauen, daß sie auch bei schweren Beben nicht einstürzen. Das ist möglich und wird am konsequentesten in den sowjetischen Erdbebenregionen verwirklicht. Auch in Japan wurden schon Hochhäuser gebaut, von denen zu erwarten ist, daß sie einem Erdbeben standhalten.

Es zeichnen sich sogar Möglichkeiten ab, ein „fälliges“ starkes Erdbeben zu verhindern, indem man künstlich viele schwächere auslöst, die keinen Schaden anrichten. Dabei wird die Erdkruste, in der sich Spannungen ausgebildet haben, gewissermaßen „geölt“, so daß die Krustenteile leichter und geschmeidiger aufeinandergleiten und durch viele sehr kleine Bewegungen in eine neue entspannte Lage übergehen können. Zum „Schmieren“ der Erdkruste braucht man kein Öl. Es genügt, wenn man Wasser in sehr tiefe Bohrlöcher preßt. Vermutlich läßt sich dadurch nicht jedes Erdbeben verhindern, aber vielleicht sehr viele. Da man einen solchen Versuch bisher noch nicht in großem Umfang unternommen hat, ist andererseits nicht völlig auszuschließen, daß statt vieler schwacher gleich ein starkes Beben künstlich ausgelöst wird. Deshalb muß das Verfahren erst einmal in wenig oder gar nicht bewohnten Gebieten ausprobiert werden.

Kann es auch in der DDR zu Erdbeben kommen? Schwächere Beben, die nur geringen Gebäudeschaden verursachen und bei denen keine Opfer zu beklagen sind, gab es in größeren Zeitabständen in südlichen Gebieten der DDR, besonders im Vogtland, schon immer. Schwere Beben haben wir jedoch nicht zu erwarten. Die norddeutsche Tiefebene ist durch eine starke Sandschicht gegen die festen Gebirge abgeschirmt. Junge Gebirge gibt es bei uns nicht. Die geologisch-tektonische Entwicklung unseres Raumes wurde schon vor viel längerer Zeit abgeschlossen als in den Zonen junger Faltengebirge. Da-

gegen ereigneten sich im Gebiet des Oberrheintalgrabens, also im heutigen Territorium der BRD und der Schweiz, noch vor Jahrhunderten stärkere Erdbeben, und es ist nicht völlig auszuschließen, daß sich dort Katastrophen irgendwann wiederholen können. Einige Geologen meinen, daß das Rheintal die Keimzelle eines neuen Ozeans ist, der sich im Verlaufe von Jahrhundert-millionen vielleicht ähnlich ausweiten könnte wie der Atlantik.

Was ist ein Seebeben?

Kurz vor Mitternacht in einer seismographischen Zentralstation in Japan. Bis jetzt hatte der diensthabende Geologe eine ruhige Nachtwache. Doch plötzlich überstürzen sich Funksprüche aus mehreren Stationen, die ein stärkeres Beben melden. Nun kommt es darauf an, in kürzester Zeit den Ort der Erdstöße auszumachen. Davon kann das Leben Tausender von Menschen abhängen. Denn wenn der Bebenherd auf dem Meeresboden eines nahe gelegenen Gebiets im Pazifik liegt, kann schon in 15 Minuten eine gigantische Wasserwoge auf die Küste der japanischen Inseln zurollen, die alles zertrümmert, was ihr im Wege steht.

In fieberhafter Eile werden die Meldungen ausgewertet. Die Annahme verdichtet sich schnell zur Gewißheit. Das bedeutet höchste Alarmstufe. Die Küstenstädte müssen gewarnt werden. In den nächsten Minuten werden Zehntausende aus ihren Häusern fliehen und mit dem Schreckensruf „Tsunami! Tsunami!“ auf den Lippen landeinwärts um ihr Leben rennen. Es gilt, noch rechtzeitig zu einem höher gelegenen Punkt zu gelangen, den die Wogen nicht erreichen können. Wenn am Morgen die Sonne wieder aufgeht, werden viele Menschen von ihren Häusern nur noch Trümmer vorfinden – oder nicht einmal diese, weil die tobenden Elemente sie irgendwohin gespült haben.

Tsunami – das ist für die Japaner eines der schrecklichsten Wörter ihrer Sprache. Es bedeutet *große Wellen in Häfen*. Die Fachleute sprechen von seismischen Wogen. In Presse- und Rundfunkmeldungen bezeichnet man sie oft als Flutwellen. Dieser Ausdruck ist aber falsch, denn mit dem regelmäßigen Wechsel von Ebbe und Flut auf den Meeren hat diese Naturerscheinung nichts zu tun. Tsunamis gibt es nicht nur an Japans, sondern an vielen Küsten der Erde, auch im Mittelmeerraum. Schon um 1400 v. u. Z. (vor unserer Zeitrechnung) zerstörte ein Tsunami die Stadt Knossos und ihren Hafen Amnisos auf der Insel Kreta. Um 400 v. u. Z. versank die 2 Kilometer landeinwärts gelegene Stadt Helice mit allen ihren Einwohnern im Golf von Korinth. 142 v. u. Z. zerstörten seismische Wogen die Stadt Rhodos. Dann gab es eine Pause von gut anderthalb Jahrtausenden, bis 1509 der nächste schwere Tsunami über die Küsten des östlichen Mittelmeeres rollte.

Noch weit häufiger sind die seismischen Wogen im Pazifik. Die größte bisher bekannte Woge hatte die Höhe eines etwa zwölfstöckigen Hauses, nämlich 40 Meter. Als sie 1883 bei Telukbetung gegen die Küste der Insel Sumatra rollte, wurde ein Kanonenboot 3,5 Kilometer weit landeinwärts geschleudert, wo es auf dem Trockenen liegenblieb. Allein bei dieser Katastrophe kamen auf den Inseln Sumatra und Java 36 830 Menschen ums Leben. 274 000 Menschen wurden getötet, verletzt oder blieben vermißt, als ein Tsunami 1923 die japanischen Städte Tokio und Yokohama heimsuchte.

1868 kam es an der südamerikanischen Pazifikküste im Grenzgebiet zwischen Peru und Chile zu einer doppelten Katastrophe. Erst ereignete sich ein Erdbeben an Land, dem vom Meer her ein Tsunami folgte. Ein Augenzeuge schilderte, wie die Menschen vor dem Erdbeben Schutz auf der Mole des Hafens suchten und sich dort zusammendrängten. Nachdem jedoch die erste Woge des Tsunamis das Land erreicht hatte, war von der Mole und den Menschen nichts mehr zu sehen. 1946 wurde vor der Insel Unimak (Alaska) ein Leuchtturm, der den Meeresspiegel um 13 Meter überragte, samt seinen fünf Mann Besatzung von einem Tsunami fortgespült wie ein Streichholz.

Das Heimtückische an diesen Naturereignissen ist, daß sie für die Betroffenen völlig überraschend kommen. Kein Windstoß, keine drohende Wolkenwand am Himmel kündigen sie an. Denn sie sind keine Wettererscheinung, sondern werden durch ein Erdbeben oder einen Vulkanausbruch auf dem Meeresgrund ausgelöst. Man spricht dann von einem Seebeben. Besonders häufig entstehen Tsunamis im Gefolge von Seebeben in einem der vielen Tiefseegräben des Pazifiks. Dabei sinken große Teile des Meeresbodens plötzlich ab. Ebenso schlagartig stürzt in die entstandene Vertiefung das Wasser nach. Dadurch gerät auch die Meeresoberfläche in Bewegung; sie beginnt, auf und ab zu schwingen. Wie um einen ins Wasser geworfenen Stein breiten sich nach allen Seiten Wellen aus. Es sind sehr lange Wellen. Die Abstände von einem Wellenberg zum nächsten betragen 150 bis 300 Kilometer. Daher folgen die einzelnen Wogen in großen zeitlichen Abständen von 15 und mehr Minuten. Ist die erste Woge vorüber, so darf man sich trotz der dann eintretenden Ruhepause nicht in Sicherheit wähnen.

Auf dem Ozean sind die Tsunamiwellen weniger als 1 Meter hoch. Sie werden daher von den Schiffsbesatzungen kaum bemerkt. Erst wenn sie auf das küstennahe flache Wasser übertreten, türmen sie sich 10 Meter und in einzelnen Fällen sogar noch erheblich höher auf. Die Geschwindigkeit der Wellen nimmt dabei ab.

Außer durch plötzliches Absinken von Meeresboden kann ein Tsunami auch ausgelöst werden, wenn im Gefolge eines küstennahen Erdbebens an einem unterseeischen Steilhang ein Erdrutsch stattfindet. Die dabei abrutschenden riesigen Bodenmassen verdrängen schlagartig gewaltige Wasser-

mengen. Tsunamis geben den Wissenschaftlern noch manche Rätsel auf. Denn nicht jedes Unterwasserbeben bewirkt einen Tsunami, und bei gleicher Bebenstärke können die Wellenhöhen sehr verschieden sein.

Vor 20 Jahren begann man damit, einen Tsunami-Warndienst aufzubauen, der ständig weiter vervollkommen wird. Wenn sich in einem der Tiefseegräben des Nordwest-Pazifiks ein Beben ereignet, trifft die erste Woge jedoch schon nach etwa 15 Minuten an den Küsten Kamtschatkas, der Kurilen und Japans ein. Diese Zeit ist meist zu kurz, um die Bevölkerung rechtzeitig in Sicherheit zu bringen. Bessere Aussichten bestehen, wenn der Erdbebenherd sehr weit entfernt ist. So konnten beispielsweise die Hawaii-Inseln schon 6 Stunden vor dem Eintreffen eines Tsunamis gewarnt werden, den ein Erdbeben an der chilenischen Küste auslöste. Innerhalb dieser Zeit gelang es den meisten Bewohnern, die gefährdeten Gebiete zu verlassen und ihre wertvollste Habe mitzunehmen. An Küsten, die weit landeinwärts sehr flach bleiben, bieten nur äußerst stabile Gebäude mit vielen Stockwerken Schutz. Die untersten Etagen müssen so fest gebaut sein, daß sie den Wogen standhalten. Die oberen dienen als Schutzräume. Sie dürfen nicht zu früh verlassen werden, da auch nach längerer Ruhepause noch eine oder mehrere Wellen folgen können.

Was geschieht bei einem Vulkanausbruch?

Es war am 17. Juli 1960. Schon seit längerem hatte es in dem größten Vulkan Europas, dem Ätna auf Sizilien, rumort. Dann schossen plötzlich eine halbe Stunde vor Mitternacht Fontänen glühenden Gesteins aus dem Krater empor. Ein ohrenbetäubendes Donnern erfüllte die Luft. 2000 Meter hoch flogen glutflüssige Gesteinsfetzen, bis in 8000 Meter Höhe wurden gigantische Rauch- und Aschewolken geschleudert. Gespenstisch leuchteten sie im Licht der glühenden Fontänen. Das Schauspiel dauerte 20 Minuten. Dann wurde es wieder still. Langsam verzogen sich die Wolken.

Der Wind wehte die Asche 200 Kilometer weit bis nach Kalabrien, einer süditalienischen Provinz. Die Stadt Taormina wurde innerhalb weniger Minuten mit einer 6 Zentimeter dicken Ascheschicht bedeckt. Zwölf Tage gab der Berg Ruhe. Da erfolgte ein erneuter Ausbruch, wiederum nachts, zwischen 20.30 und 24.00 Uhr. Ein dritter ereignete sich nach weiteren fünf Tagen und dauerte von 22.45 bis 14.30 Uhr des folgenden Tages.

So oder ähnlich spielen sich die Ausbrüche – man nennt sie auch Eruptionen – der meisten tätigen großen Vulkane der Erde ab. Man unterscheidet tätige und erloschene Vulkane. Manche tätigen haben fast ständig eine Rauchfahne. Starke Ausbrüche ereignen sich aber nur von Zeit zu Zeit. Die Pausen

zwischen den Eruptionen können Tage, Monate, Jahre oder sogar Jahrtausende dauern. Der Ätna speit seit Menschengedenken. Der Eruptionsserie im Juli und August 1960 waren zum Beispiel Ausbrüche in den Jahren 1957/58, 1951, 1950 und 1947 vorangegangen. Erfolgt viele Jahrhunderte lang kein Ausbruch mehr, so wähnen sich die Bewohner des umliegenden Gebiets in Sicherheit. Um so verheerender für die Menschen kann dann ein unerwarteter starker Ausbruch sein.

So vernichtete eine gigantische Eruption des Vesuvs im Jahre 79 unserer Zeitrechnung die altrömischen Städte Pompeji und Herculaneum. Pompeji wurde unter schlammartigen Massen vulkanischen Ursprungs begraben, die sich rasend schnell zu Tal wälzten. Auf Herculaneum fiel ein Regen unvorstellbar großer Mengen Asche herab, der die Stadt vollständig erstickte.

Nach Berichten von Schriftstellern des Altertums soll einst ein blühender Stadtstaat namens Atlantis durch eine Naturkatastrophe untergegangen sein. Niemand weiß, ob es Atlantis wirklich gab und wo es lag, oder ob es nur ein Gebilde der Phantasie antiker Erzähler war. Tatsache ist aber, daß um etwa 1400 v. u. Z. ein noch größerer Ausbruch als der genannte des Vesuvs auf der Insel Théra im Ägäischen Meer erfolgte. Er war so verheerend, daß noch auf der 120 Kilometer entfernten Insel Kreta die Paläste zerstört wurden. Damals ging eine ganze blühende Kultur zugrunde. Vielleicht war Théra das sagenhafte Atlantis?

Als 1883 der Krakatau (Java) ausbrach, schleuderte er gigantische Aschewolken so hoch in die Atmosphäre, daß sie lange Zeit um die Erde kreisten und in weiten Gebieten den Himmel verdunkelten. Im Jahre 1536 sahen die Bewohner der italienischen Stadt Pozzuoli am Golf von Neapel vor ihren Augen einen neuen Vulkanberg aus dem Boden wachsen. Daß so etwas noch heute passiert, zeigte sich 1963. Damals brach vor Island auf dem Meeresgrund ein Vulkan aus. Er förderte so viel Gesteinsmaterial, daß sich innerhalb weniger Tage an dieser Stelle eine neue Insel aus dem Meer erhob, Surtsey genannt.

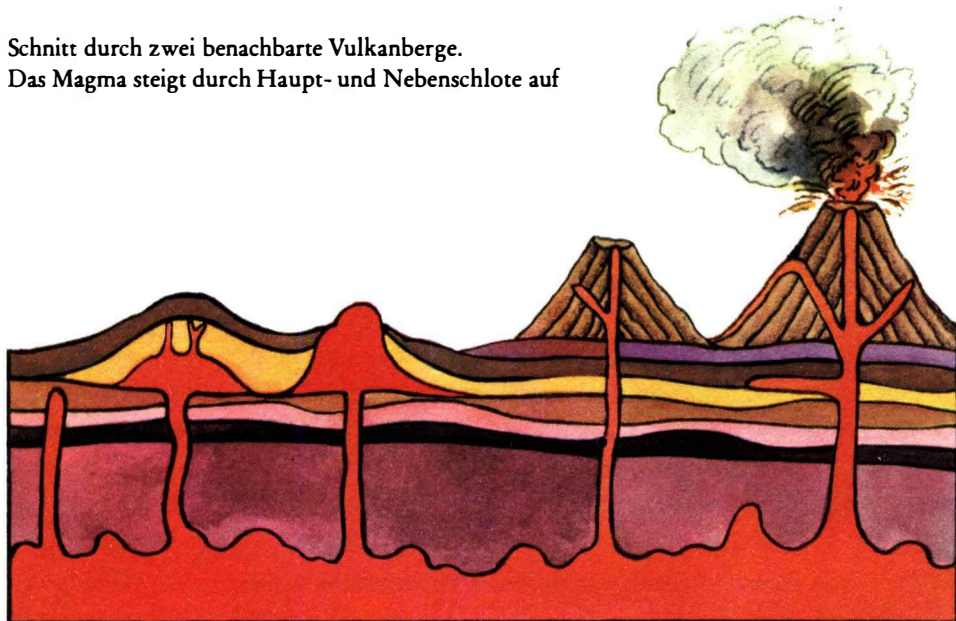
Auch der Ätna war vor etwa 50 000 Jahren ein Vulkan, der auf dem Meeresboden vor der Ostküste Siziliens entstand. Durch immer neue Ausbrüche erhob er sich über den Meeresspiegel und bildete eine Insel. In weiteren Jahrtausenden förderte er so viel Gesteinsmaterial nach oben, daß sich die Insel immer mehr vergrößerte und schließlich mit Sizilien zusammenwuchs. Heute ist der Ätna einer der größten Vulkanberge der Erde. Sein vulkanisches Gesteinsmaterial reicht bis 2000 Meter unter, sein Gipfel 3370 Meter über den Meeresspiegel. An der Basis hat er einen Durchmesser von 45 Kilometern. Der Hauptschlot, durch den Magma aufsteigt, geht bis in 6000 Meter Tiefe.

In vielen Gebieten der DDR finden wir Gesteine, die Überreste einstiger Vulkantätigkeit sind, so bei Dresden, Leipzig, Halle und Magdeburg, im Vogtland, Harz und Thüringer Wald. In Thüringen gibt es Spalten, die mit

dem Auswurfmaterial früherer Vulkane gefüllt sind. Diese alten Vulkane sind jedoch längst erloschen und können nicht mehr überraschend ausbrechen. Ihre Kraterberge sind verwitert und abgetragen. Heute nutzen wir die Gesteine vulkanischen Ursprungs für den Bau von Straßen und Gleisbetten der Eisenbahn.

Zu einer noch viel weiter zurückliegenden Zeit, vor mehreren Jahrmilliarden, als die Erdkruste noch nicht so verfestigt war, bildete die gesamte Erdoberfläche ein einziges Vulkangebiet. Damals mögen überall Vulkane geraucht haben und die Gelände von großen Seen aus noch glutflüssigem Gestein durchzogen gewesen sein. Lebewesen gab es noch nicht. Aus den Gasen, die bei den Vulkanausbrüchen dem Erdinneren entwichen, bildete sich die erste Atmosphäre unseres Planeten. (Als Atmosphäre wird die Gashölle bezeichnet, welche die feste Erdkugel umgibt.) Diese Uratmosphäre hatte eine ganz andere Zusammensetzung. Sie bestand ganz zu Anfang hauptsächlich aus Methan, Ammoniak und Wasserdampf, später aus Kohlendioxid, Stickstoff und Wasserdampf. Dieser kühlte ab, verflüssigte sich und stürzte in gewaltigen Regengüssen zur Erdoberfläche. Auch das Wasser der Ozeane, Meere, Flüsse und Seen stammt also ursprünglich aus dem Inneren der Erde. Der Sauerstoff, den Mensch und Tier zum Leben brauchen und der heute 21 Prozent der Atmosphäre ausmacht, entstand zum größten Teil erst durch die Lebenstätigkeit der sich später entwickelnden Pflanzen. Sie verbrauchen nämlich Kohlendioxid und geben Sauerstoff an die Luft ab.

Schnitt durch zwei benachbarte Vulkanberge.
Das Magma steigt durch Haupt- und Nebenschlote auf



Vulkanberge haben häufig die Form eines riesigen Kegels. An ihrer Spitze haben sie eine trichterförmige Vertiefung, den Krater. Er kann aber auch die Form einer länglichen Spalte haben. In den Krater mündet eine bis in große Tiefen reichende Röhre, der Schlot. Dieser verläuft nicht immer senkrecht wie ein Schornstein, sondern kann verwinkelt und verzweigt sein. In manchen Vulkanbergen münden die Schlote nicht nur in den Hauptkrater, sondern auch in sogenannte Parasitvulkane an den Seitenhängen. Diese sind oftmals entlang einer Spalte angeordnet.

Durch die Schlote steigt glutflüssiges Magma bis an die Oberfläche. Es wird durch große Mengen Gase emporgetrieben, die im Magma enthalten sind. Ein Vulkanausbruch ist daher mit dem Übersprudeln einer nicht gekühlten Flasche Selterswasser zu vergleichen. In diesem Getränk ist das Gas Kohlendioxid gelöst. Es erzeugt einen Druck. Öffnet man die Flasche, so sinkt er schlagartig ab, weil sich das Gas jetzt ausdehnen kann. Dabei entsteht ein Knall, vergleichbar dem Donnern des Vulkanausbruchs. Das Gas reißt bei seiner plötzlichen Ausdehnung etwas von dem Wasser mit. Die Flüssigkeit schäumt und spritzt aus der Flasche. Ähnlich geschieht es auch mit dem Magma und den anderen Stoffen, die bei der Eruption ausgeworfen werden. Wenn das Magma an die Oberfläche getreten ist, nennt man es Lava, und zwar nicht nur, solange es noch glutflüssig ist, sondern auch später, im erstarrten Zustand. Die Lava erstarrt infolge der Abkühlung an der Erdoberfläche oder – bei einem Vulkanausbruch auf dem Meeresgrund – durch die Berührung mit dem kalten Wasser.

Außer Magma reißen die Gase größere und kleinere Gesteinsbrocken von den Wänden des Schlotes mit. Diese Lockerprodukte machen einen großen Teil des ausgeworfenen Materials aus. Die Vulkanasche besteht meist aus kleinsten Lavatröpfchen, die bereits erstarrt sind, und staubförmig zerkleinertem Gestein der Schlotwände. Durch immer neuen Auswurf von Lava und anderem lockeren Material baut sich der Vulkanberg im Laufe der Zeit von selbst auf. Indem sich zunehmend mehr Material anhäuft, wächst der Berg immer weiter in die Breite und Höhe. Manche Vulkane sondern heute aber nur noch Gase ab. Man nennt sie daher Gasvulkane.

Die Zusammensetzung, der Grad der Zähflüssigkeit und der Gasgehalt des Magmas sind verschieden. Dünnflüssige Lava quillt in der Regel verhältnismäßig ruhig über. Ihre Ströme ergießen sich über die Hänge des Vulkans talwärts und begraben Felder und Gärten unter sich. Sie fließen jedoch meist so langsam, daß der Mensch vor ihnen fliehen kann. Aus zähflüssigem Magma entweichen die Gase nur schwer. Es kann den Vulkanschlott verstopfen, so daß

In der Urzeit unseres Planeten war die ganze Erdoberfläche vermutlich ein Vulkangebiet.
Glühende Lava bildete große Seen



lange Zeit kein Ausbruch erfolgt. Unter dem Pfropfen aber staut sich mit der Zeit ein immer größerer Druck an. Eines Tages wird er so groß, daß er den Pfropfen explosionsartig austreibt. Bei einem solchen Ausbruch kann der ganze Kegel des Vulkanberges mit abgesprengt werden. Die Eruption schleudert Millionen Tonnen zerkleinerten Gesteins in Höhen von über 12 Kilometern.

Die vielen winzigen Ascheteilchen bilden in der Luft sogenannte Kondensationskerne, um die sich Wasser- und Regentröpfchen bilden. Dadurch können wolkenbruchartige Regengüsse niedergehen. Das Regenwasser vermischt sich mit der abgelagerten Asche zu einer breiigen Masse, die das Tal überschwemmt und alles unter sich begräbt. So kam es zum bereits erwähnten Untergang von Herculaneum. Gefährlich sind ferner heiße Glutwolken, die sich aus feinsten, oft noch glühenden Teilchen und heißen Gasen zusammensetzen. Sie sind so schwer, daß sie nicht aufsteigen, sondern sich über die Vulkanhänge talwärts wälzen. Solche Glutwolken mit einer Temperatur von 800 Grad Celsius rasten mit der Geschwindigkeit eines Orkans über die Stadt St. Pierre auf der Insel Martinique, als dort 1902 der Vulkan Mt. Pelée ausbrach. Sie vernichteten den Ort mit seinen 30000 Einwohnern innerhalb weniger Minuten.

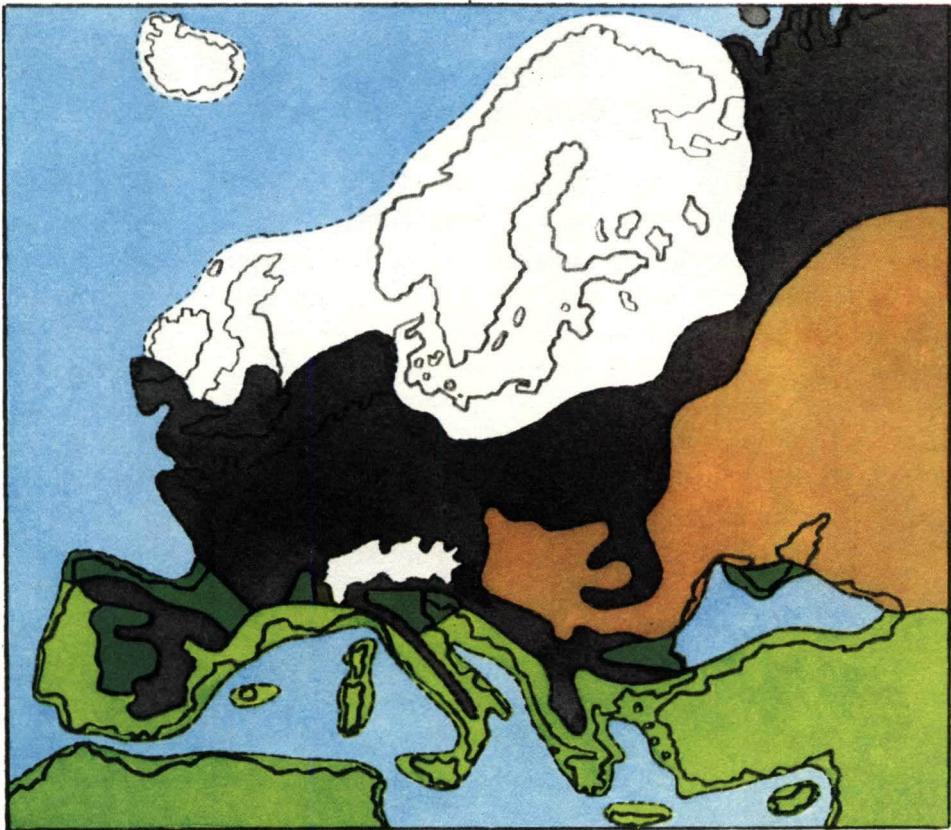
Die wissenschaftliche Erforschung der Vulkane hat dem Menschen inzwischen die Möglichkeit gegeben, einen schweren Ausbruch vorher zu erkennen. Einer Eruption gehen mehrere Anzeichen voran. Dazu gehören unter anderen schwache Erdbeben, die selbst noch keine Gefahr bedeuten. Durch die ständige Beobachtung solcher und anderer Vorzeichen gelang im Jahre 1959 erstmals die Vorhersage eines erneuten Ausbruchs des Kilauea auf Hawaii. Das noch ungelöste Problem besteht wiederum in der Zuverlässigkeit der Vorhersage. Manchmal findet trotz reichlicher Anzeichen die erwartete schwere Eruption nicht statt. Dabei ist zu bedenken, daß auch eine falsche Vorhersage, ein sogenannter blinder Alarm, schweren wirtschaftlichen Schaden verursacht, weil die Menschen vorsorglich ihre Wohnungen und Betriebe verlassen und für längere Zeit ihre Produktionstätigkeit unterbrechen. Einige solcher Fälle gab es in jüngster Zeit. Es bleibt also noch viel Forschungsarbeit zu leisten, um die Zuverlässigkeit der Vorhersage zu verbessern.

Nach allem, was wir über die Ursachen von Erdbeben erfahren haben, wird es uns nicht mehr wundern, daß Vulkane in denselben Gebieten anzutreffen sind, in denen sich auch die meisten Beben ereignen. Denn Vulkanismus und Erdbeben sind Begleiterscheinungen desselben Vorgangs: des Umbaus von Teilen der Erdkruste. Dabei entstehen Spalten und Klüfte, die bis in große Tiefen reichen. Durch sie kann das Magma zur Erdoberfläche empordringen.

Kommt eine neue Eiszeit?

Wie sah es bei uns zur Eiszeit aus?

Die Menschen, welche vor 20 000 Jahren und noch früher in Mitteleuropa lebten, hatten einen harten Kampf ums Überleben zu führen. Es herrschte ein sehr kaltes Klima. (Unter Klima versteht man – vereinfacht ausgedrückt – die durchschnittlichen Wetterverhältnisse eines bestimmten Gebietes während eines langen Zeitraums.) Die nördlichen Gebiete des heutigen Territoriums der DDR bedeckte im Sommer wie im Winter ständig ein dicker Eispanser.



 Eis

 Steppe

 Nadelwald

 Tundra

 Laubwald

Während der Höhepunkte der Kaltzeiten waren große Teile Europas ständig von Eis bedeckt

Man nennt solche großen, auf dem Festland liegenden Eismassen Gletscher. Während der Höhepunkte der Vereisung waren die Gletscher bei uns mehrere hundert Meter dick. Unter solchen Bedingungen konnten weder Menschen noch Tiere oder Pflanzen existieren. Das Eis lastete auch auf den nördlichen Teilen anderer europäischer Gebiete.

Aber auch südlich dieser Gletscher herrschte ein kaltes und unfreundliches Klima. Der Boden war bis in große Tiefen gefroren. Nur während des kurzen Sommers, der etwa drei Monate dauerte, taute die oberste Bodenschicht auf. Dann blühten Pflanzen, die sich klimatisch angepaßt hatten. Hier und da standen ein paar niedrige Weiden, Erlen, Birken und Nadelbäume. Schon im September und Oktober, wenn es jetzt noch schönes Herbstwetter gibt, kam der Winter ins Land und bedeckte es mit Schnee und Eis. Man bezeichnet ein solches Gebiet mit nur kurzen Sommern und spärlichem Pflanzenwuchs als Tundra. Tundren gibt es auch heute noch; sie liegen weit nördlich. Damals aber war fast unser ganzes Land – soweit es nicht ständig von Eis bedeckt war – Tundra, ebenso weite Teile der heutigen europäischen Länder (siehe Karte). Auch in Nordamerika herrschten bis weit nach Süden ähnliche Verhältnisse wie in Europa.

Trotz des unwirtlichen Klimas lebten in den Tundren große Tiere. Das größte war das inzwischen ausgestorbene elefantenähnliche Mammut. Es wurde bis zu 4 Meter hoch, also noch etwas größer als die heutigen Elefanten, und hatte ein dichtes langhaariges Fell und lange gekrümmte Stoßzähne. Im Sommer ernährte es sich von den Sprossen junger Bäume. Im Winter wühlte es mit den Füßen und dem langen Rüssel den Schnee auf und suchte auf dem darunter liegenden Boden nach Moosen, Flechten und anderen, spärlich wachsenden Pflanzen. Davon wurde es nicht satt, aber in seinem auffallend großen Höcker bildete sich während des Sommers ein Nährstoffvorrat, von dem das Tier im Winter mit zehrte. Zudem befand sich unter seiner Haut eine etwa 8 Zentimeter starke Fettschicht. Sie schützte gegen Kälte und diente auch als Nährstoffreserve in der Hungerszeit.

Die Menschen der damaligen Zeit jagten neben anderen Tieren auch diese Riesen, um sich von deren Fleisch zu ernähren und mit deren Fellen zu bekleiden. Nur mit Speeren bewaffnet, die eine steinerne Spitze trugen, griffen die Menschen auch den mächtigen Höhlenbären an. Dann benutzten sie seine Höhle, weil sie einigen Schutz gegen die Kälte bot.

Außerdem lebten in den eiszeitlichen Tundren Wollhaar-Nashörner, Rentiere, Riesenhirsche und -elche, Eisfüchse, Moschusochsen, Schneehasen und Schneehühner. Da der Boden aber nicht viele Tiere ernähren konnte, waren sie nur schwach verbreitet.

In den Tundren lebten zu den Kaltzeiten riesige elefantenähnliche Tiere, die Mammute



Während der jüngsten 1,5 Millionen Jahre gab es mindestens fünf solcher extrem kalten Zeiten, die sehr lange – bis zu etwa 100 000 Jahre – dauerten. Diese ganze Periode der jüngsten Erdgeschichte nennt man zusammenfassend quartäres Eiszeitalter. Der Zusatz *quartär* ist nötig, weil es auch in früheren, viel weiter zurückliegenden Perioden der Erdgeschichte Eiszeitalter gab. Quartär heißt der jüngste Abschnitt der Erdgeschichte. Über die früheren Eiszeitalter weiß man weit weniger als über das quartäre.

Während dieses jüngsten Eiszeitalters – und vermutlich auch in den früheren – war das Klima nicht durchgehend sehr kalt. Vielmehr wechselten Zeiten sehr kalten mit denen normalen Klimas. Die kalten Zeitabschnitte heißen Kaltzeiten, die dazwischenliegenden mit normalem Klima Warmzeiten. Manchmal, besonders in älteren Büchern, werden sie auch Eiszeiten und Zwischeneiszeiten genannt oder Glaziale und Interglaziale. Den in diesem Sinne gemeinten Begriff *Eiszeit* dürfen wir also nicht mit dem oben erläuterten des *Eiszeitalters* verwechseln.

Vier der Kaltzeiten des quartären Eiszeitalters werden nach Alpenflüssen (bis zu denen damals die Alpengletscher vorgedrungen waren) als Günz-, Mindel-, Riß- und Würm-Kaltzeit bezeichnet, wobei die Günz- die älteste und die Würm-Kaltzeit die jüngste ist. Diese endete erst vor 10 000 bis 12 000 Jahren. Südlich der damaligen Tundren unserer Gegend hatte sich noch eine, von den Gletschern des Nordens getrennte große Eis,,insel“ um das Hochgebirge der Alpen gebildet.

Nach den Südgrenzen der nördlichen Gletscher werden drei Kaltzeiten unterschieden und nach den Flüssen Elster, Saale und Weichsel benannt. Das Eis der ältesten, der Elster-Kaltzeit, reichte bis an unsere Mittelgebirge, das der Saale-Kaltzeit bis südlich von Halle und Leipzig und das der jüngsten, der Weichsel-Kaltzeit, etwa bis zur Linie Schwerin–Havelberg–Brandenburg–Wilhelm-Pieck-Stadt Guben. Für die Günz- und die noch älteren Kaltzeiten läßt sich eine Eisbedeckung unseres Gebietes nicht sicher nachweisen.

Kaltzeiten herrschten während des quartären Eiszeitalters nicht nur auf der nördlichen, sondern etwa gleichzeitig auch auf der südlichen Erdhalbkugel. Da es dort jedoch weniger Festland gibt, konnten nicht so große Flächen vergletschern wie im Norden. Heute ist etwa ein Zehntel der Festlandfläche ständig mit Eis bedeckt, während der Kaltzeiten war es rund ein Drittel.

Da innerhalb eines Eiszeitalters Kalt- und Warmzeiten mehrmals abwechseln, wissen wir nicht, ob auf die gegenwärtige Warmzeit nochmals eine Kaltzeit oder vielleicht sogar mehrere Kaltzeiten folgen werden oder ob mit der Würm-Kaltzeit das quartäre Eiszeitalter beendet wurde. Darüber Gewißheit zu erlangen, wäre von großer Bedeutung für die kommenden Generationen. Heute leben unvergleichlich mehr Menschen auf der Erde als damals, und eine neue Kaltzeit würde die Bewohner unseres Planeten vor sehr

schwierige Aufgaben stellen. Diese wären um so besser zu lösen, je rechtzeitig man sich auf sie vorbereiten kann. Wie schnell ein Übergang zwischen einer Warm- und Kaltzeit oder umgekehrt erfolgen kann, darüber sind die Wissenschaftler verschiedener Auffassung.

Für die gesamte Erdgeschichte betrachtet, bildet auch das Klima von Warmzeiten der Eiszeitalter eigentlich nur eine Ausnahme. In den Zeiträumen zwischen den Eiszeitaltern war es auf der Erde wärmer als heute. Wäre das quartäre Eiszeitalter mit der Würm-Kaltzeit zu Ende gegangen, dann könnten wir uns auch in der Übergangsphase zu einem wieder merklich wärmeren Klima befinden.

Wie entsteht eine Kaltzeit?

Normalerweise taut im Tiefland unserer geografischen Breiten sämtlicher Schnee, der während des Winters gefallen ist, spätestens im Frühjahr wieder ab. Nur auf sehr hohen Bergen verbleibt auch im Sommer eine Schneedecke. Das beruht darauf, daß die Temperatur der Luft mit zunehmender Höhe abnimmt. In 5000 bis 6000 Meter Höhe ist es selbst in der heißen Tropenzone so kalt, daß dort der Schnee nicht mehr taut. Darum ist zum Beispiel der Gipfel des Kilimandscharos ständig mit Schnee bedeckt, obwohl dieser mit 5895 Metern höchste Berg Afrikas in der Nähe des Äquators liegt. In Europa haben schon Berge, die wesentlich niedriger sind, im Sommer wie im Winter schneebedeckte Gipfel.

Die ständigen Schnee- und Eismassen solcher Berge nennt man Gletscher. Während der Kaltzeiten bedeckten sie nicht nur hohe Berge, sondern breiteten sich auch über das Tiefland aus. Man bezeichnet sie dann als Inlandeis. Baumaterial aller Gletscher sind die Schneeflocken. Wenn sich eine immer dickere Schneedecke anhäuft, verwandeln sich die unteren Schneesichten durch den Druck der darüber befindlichen in Eis. Wächst die Eisdecke durch weiter hinzukommenden Schnee ständig an, so bewirkt das auf den unteren Eisschichten lastende sehr große Gewicht, daß dieses Eis zähflüssig wird, ähnlich wie Wachs es ist. Jetzt kann das Eis sogar in eine langsame Fließbewegung geraten.

Wenn sich das Klima stark abkühlt und lange Zeiten hindurch im Winter mehr Schnee fällt als im Sommer abtaut, vergrößern sich die Gletscher von Jahr zu Jahr und dringen vor. Im Sommer zieht sich der Eisrand zwar stets ein kleines Stück zurück, aber nicht so weit wie im vorangegangenen Sommer. Daher können riesige Gletscher entstehen, die sich von Jahrzehnt zu Jahrzehnt immer mehr ausdehnen.

Steine werden von den Eismassen umschlossen und beim Wandern des Gletschers wie eine Fracht im Bauch von Schiffen mitbefördert. Wenn das Eis,

das die Steine transportiert hat, abschmilzt, bleiben diese als stumme Zeugen des Vordringens der einstigen Gletscher liegen. Dadurch erhielten die Wissenschaftler übrigens den ersten Hinweis darauf, daß unser Gebiet früher von Gletschern bedeckt war. Denn die Gesteinsart der sogenannten Findlinge kam in der Umgebung von deren Fundorten nicht vor; sie war typisch für Regionen im hohen Norden.

So kam man auf den Gedanken, daß sie durch das Eis hierher befördert sein könnten. Es gibt aber noch viele weitere Anhaltspunkte für die Vergletscherung. Beispielsweise schiebt der Gletscherrand große Mengen Geröll, das seinem Vordringen im Wege steht, vor sich her. Diese als Endmoränen bezeichneten angestauten Massen von Geröll und Gesteinsschutt markieren die Grenzen, bis zu denen die Gletscher zur Zeit ihrer größten Ausdehnung vorgedrungen waren.

Wodurch aber werden solche langanhaltenden Abkühlungen des Klimas hervorgerufen, in deren Gefolge die riesigen Gletscher entstehen? Diese Frage ist bisher leider ungeklärt. Es gibt etwa 60 Hypothesen (Annahmen) darüber. Viele davon sind inzwischen überholt, da widerlegbar. Aber auch von den übrigen wissen wir nicht, welche und ob überhaupt eine von ihnen der Wirklichkeit entspricht oder sehr nahekommt, oder ob die richtige Lösung erst noch gefunden werden muß. Einige von diesen Hypothesen wollen wir kurz erwähnen.

Die Bewegungen der Erde im kosmischen Raum erfolgen nicht für alle Zeiten so genau gleichmäßig wie etwa die eines Rädchens in einem Uhrwerk. Die Erde vollführt mehrere Bewegungen gleichzeitig. Sie umläuft auf einer riesigen Bahn die Sonne. Außerdem dreht sie sich dabei ständig um ihre eigene Achse. Diese Rotationsachse behält aber auch nicht dauernd die gleiche Richtung im Raum bei, sondern „tanzt“ wie die Umdrehungsachse eines Spielzeugkreisel. Bei diesen Bewegungen treten gewisse Schwankungen auf. Eine Ursache dafür besteht darin, daß sich alle Himmelskörper gegenseitig mit einer bestimmten Kraft anziehen. Sie ist unter anderem von der Entfernung zwischen den Himmelskörpern abhängig. Die Bewegungen der Erde werden also nicht nur von der Sonne, dem Zentralgestirn, sondern auch vom Mond und den Planeten unseres Sonnensystems beeinflusst. Dabei ergeben sich je nach der Stellung dieser Körper von Zeit zu Zeit geringe Änderungen der Bahn der Erde um die Sonne und der Neigung der Rotationsachse. Nach Berechnungen des Astronomen Milankovitch soll daraus in Abständen von jeweils 21 000, 41 000 und 97 000 Jahren eine Verringerung der Sonneneinstrahlung auf der Erde entstehen. Diese verminderte Energieeinstrahlung führt dann zu Kaltzeiten.

Unsere Erde und die anderen Planeten bewegen sich zusammen mit der Sonne außerdem im Verlauf von 300 Millionen Jahren jeweils einmal um das Zentrum eines noch viel größeren Systems, das etwa 100 Milliarden Sterne

umfaßt. Wenn es in bestimmten Gebieten dieses Raumes dichte Wolken kosmischen Staubs gibt, so würden diese einen großen Teil der Licht- und Wärmestrahlen der Sonne absorbieren, „verschlucken“, solange das Sonnensystem diese gigantischen Wolken durchquert.

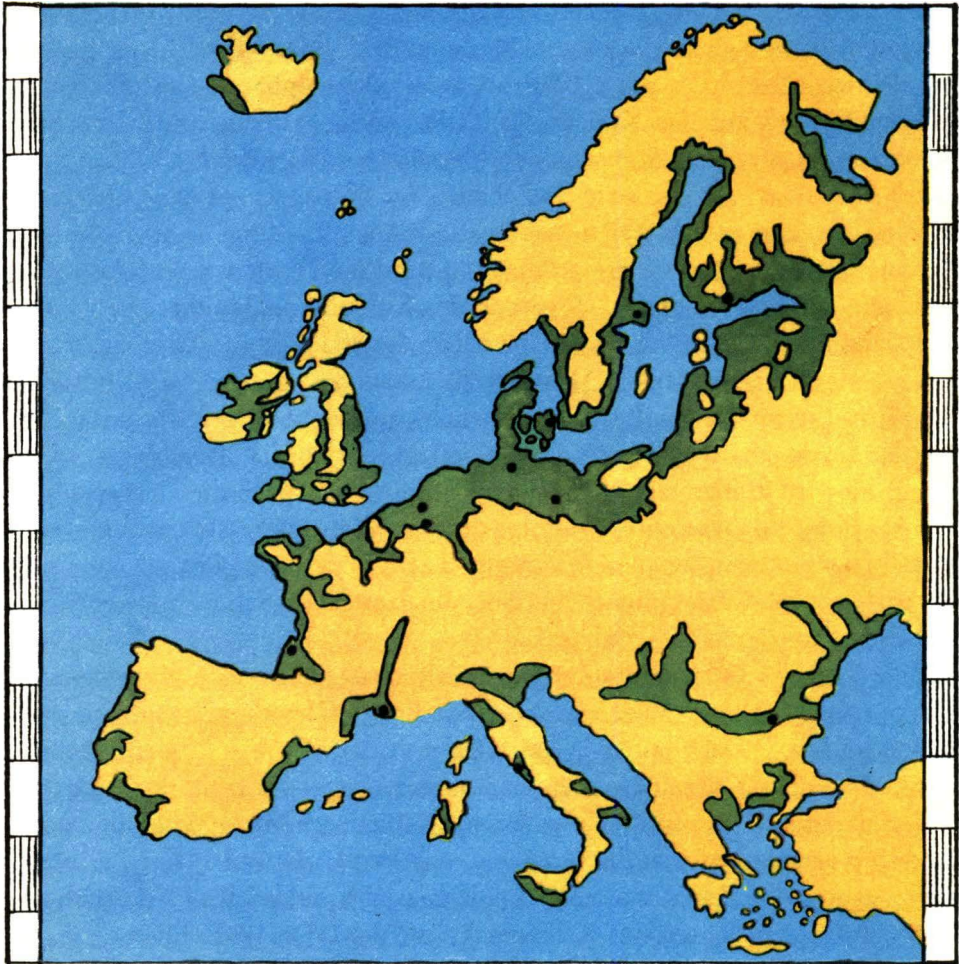
Auch dies könnte eine Ursache von Kaltzeiten oder sogar ganzer Eiszeitalter sein.

Eine weitere Hypothese bringt die Eiszeitalter mit dem wechselnden Kohlendioxidgehalt der Luft in Verbindung. Dieses Gas wird in Perioden starker Vulkantätigkeit in erhöhtem Maße aus dem Inneren der Erde in die Luft abgegeben. Obwohl es nur 0,03 Prozent der Atmosphäre ausmacht, hat es großen Einfluß auf das Klima. Die Erde empfängt nicht nur Licht- und Wärmestrahlen von der Sonne, sondern strahlt wie jeder Körper Wärme auch wieder aus. Das Kohlendioxid und ebenso der Wasserdampf der Luft absorbieren aber einen großen Teil dieser Ausstrahlung. Dadurch bleibt ein Teil der Wärme in der Erdatmosphäre gefangen und kann nicht in den Weltraum entweichen. Diese „Treibhaus“-Wirkung des Kohlendioxids führt zur Erwärmung des Klimas. Als Folge davon gedeihen die Pflanzen gut. Es entsteht eine sehr üppige Pflanzendecke. Aber alle Pflanzen verbrauchen Kohlendioxid. So führt gerade der starke Pflanzenwuchs wieder zur Verminderung des Kohlendioxidgehalts der Luft. Damit verringert sich die „Treibhaus“-Wirkung. Es wird kühler, die Pflanzendecke nimmt ab. Nach dieser Hypothese wäre das jüngste Eiszeitalter die Folge des besonders üppigen Pflanzenwachstums in der vorangegangenen Braunkohlenzeit, in der jene Pflanzen wuchsen, die inzwischen zu Braunkohle wurden. Auch auf die noch weit ältere Steinkohlenzeit folgte ein Eiszeitalter.

Eine wichtige Folgeerscheinung der Kaltzeiten bleibt noch zu erwähnen: Die riesigen Mengen Wasser, die in den mächtigen Gletschern gebunden sind, fehlen im Meer. Daher sinkt in jeder Kaltzeit der Meeresspiegel. Im Höhepunkt der Günz-Kaltzeit lag er 20, in dem der Mindel-Kaltzeit 90, in dem der Riß-Kaltzeit 110 und in dem der Würm-Kaltzeit 95 Meter tiefer als heute. Dadurch verschoben sich die Grenzen zwischen Land und Meer. Beispielsweise gab es den Kanal zwischen England und Frankreich nicht. Auch die heutigen Gebiete Schwedens, Dänemarks und der DDR bildeten eine zusammenhängende Landmasse, und die Ostsee war vor der jüngsten Kaltzeit noch nicht vorhanden. Sie entstand erst aus dem Schmelzwasser der Gletscher. Dabei veränderten sich häufig ihre Küstenlinien. Erst vor etwa 7000 Jahren bildete sich ungefähr der gegenwärtige Küstenverlauf heraus.

Würden auch die jetzigen großen Gletscher der Nord- und Südpolargebiete und alle anderen Gletscher vollständig abschmelzen, so erhöhte sich der Meeresspiegel um fast 80 Meter. Anzeichen dafür, daß dieses Eis von Natur aus schmelzen könnte, gibt es nicht. Zwar weiß man, daß auf dem am Südpol

gelegenen Kontinent Antarktika in früheren Perioden der Erdgeschichte eine üppige Pflanzenwelt gedieh und mithin ein mildes Klima herrschte, doch muß man dabei neuere wissenschaftliche Erkenntnisse berücksichtigen. Danach befand sich der Kontinent damals nicht am Südpol, sondern viel näher am Äquator. Zu seiner heutigen Lage ist er erst während der jüngsten 200 Millionen Jahre gedriftet.



● höher als 60 m ● 60 m und tiefer ● überflutete Großstädte

Würde der Meeresspiegel um nur 60 Meter steigen, wären die grün gezeichneten Gebiete des heutigen Festlands vom Meer überflutet

Ändert sich unser Klima?

Bisher haben wir nur so krasse Klimawechsel besprochen wie die Abfolge von Warm- und Kaltzeiten. Betrachtet man den Klimaverlauf aber genauer, so zeigt sich, daß er auch innerhalb der Warm- und Kaltzeiten nicht immer gleich blieb. Während einer Warmzeit gibt es nämlich kühlere und wärmere Perioden unterschiedlicher Dauer. So wurde es schon vor 12 000 Jahren merklich wärmer. Pflanzen und Tiere breiteten sich wieder nordwärts aus. Doch dann war es im nächsten Jahrtausend erneut sehr kalt. Abermals mußten Pflanzen und Tiere zurückweichen. Vor 10 000 Jahren erwärmte sich das Klima dann anhaltend und erreichte vor 7000 Jahren einen Höhepunkt, zu dem es erheblich wärmer als heute war. Das Eis des Polargebietes schmolz bis auf einen kleinen Rest. Es regnete viel in Nord- und Mitteleuropa. Die Wälder verwandelten sich in Torfmoore. Sogar im Gebiet der heutigen Wüste Sahara gingen Sommerregen nieder. Seitdem fallen die langfristigen Mitteltemperaturen wieder – nicht stetig, denn es gab immer wieder wärmere Zeiten.

In den Jahrhunderten vor und nach dem Beginn unserer Zeitrechnung war es in Mitteleuropa kühl und feucht. Eine ausgeprägt milde Periode herrschte im frühen Mittelalter, zwischen etwa 800 und 1300. Damals zeigten sich seltsame Launen der Witterung. So blühten zum Beispiel im Januar 1186 in der Schweiz die Obstbäume. Weihnachten 1289 kam es im Elsaß zur Baumblüte, und die Kinder badeten in den Flüssen. In Südengland betrieb man von 1000 bis 1300 den Anbau von Wein. Auf Grönland, dessen Name ja Grünland bedeutet, das heute aber größtenteils von einem bis zu 1500 Meter dicken Eispanser bedeckt ist, war eine umfangreiche Weidewirtschaft möglich. Die Wikinger konnten – ungehindert durch Eis – weit nach Norden segeln.

Dann folgte eine kühlere Periode. Im Winter 1322/23 fror die Ostsee so weit zu, daß die Kaufleute von Rostock über das Eis nach Schweden zogen. Der Höhepunkt dieser Abkühlung lag um 1750. Bis 1870 blieb es dann kühler als in den bis 1930 folgenden Jahrzehnten. So ging zum Beispiel die mittlere Eisbedeckung der Ostsee zwischen 1830 und 1930 von 250 000 auf 150 000 Quadratkilometer zurück. Seit etwa Mitte unseres Jahrhunderts rücken die nördlichen Gletscher wieder vor. Zu alledem ist aber stets zu bemerken, daß sich diese Angaben auf den langfristigen Durchschnitt beziehen. Auch in einer kühlen Periode gab es also einzelne sehr milde Winter und warme Sommer und umgekehrt.

Seit der Mensch durch die Technik großen Einfluß auf die Natur nimmt, kam als neues Problem hinzu, ob und wie sich dadurch das Klima ändert. Bei der Verbrennung von Kohle, Erdöl und Erdgas entstehen neben anderen Abgasen auch riesige Mengen an Kohlendioxid. Ob und in welchem Maße dadurch eine Erwärmung eintritt, darüber herrschen verschiedene Meinungen.

Ebenso umstritten ist die Rolle des durch die Technik in großen Mengen erzeugten Staubs. Einige meinen, daß dadurch die Sonnenstrahlung geschwächt würde, so daß eine Abkühlung entsteht. Andere kommen zum gegenteiligen Schluß, weil Staub Wärmestrahlen absorbiert und dadurch zur Erwärmung der Luft beiträgt. Dementsprechend sind die Vorhersagen widersprüchlich. Wer recht behält, wird die Zukunft lehren.

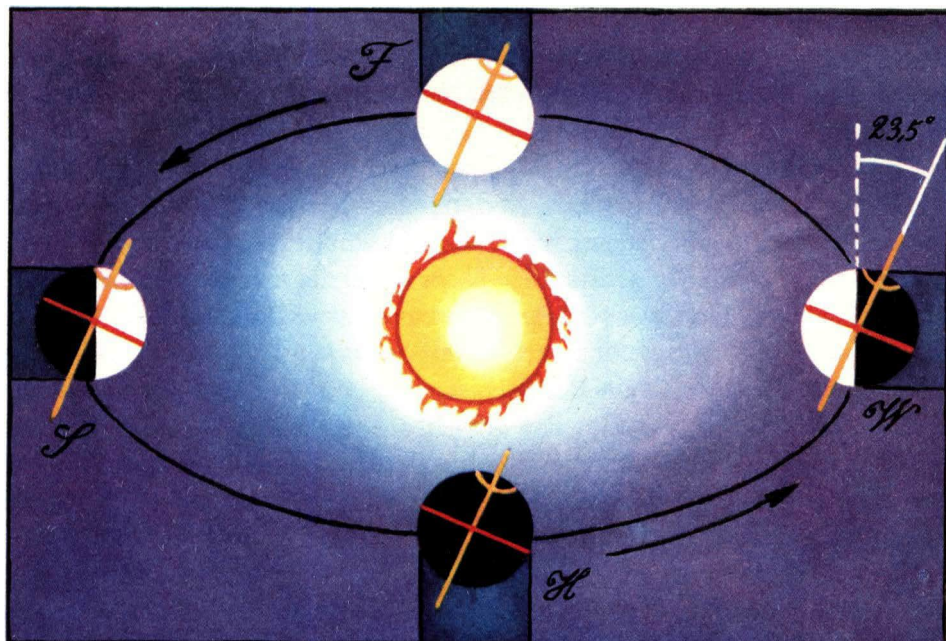
Warum sind Nord- und Südpol immer von Eis bedeckt?

In den Gebieten um den Nord- und den Südpol – der Arktis und Antarktis – ist es selbst im Sommer kälter als bei uns im Winter. Dort gibt es das ganze Jahr über Eis und Schnee. Im Polarwinter sinken die Temperaturen in der Antarktis nicht selten auf minus 50 Grad Celsius. In der Arktis wird es nicht ganz so kalt, aber minus 30 oder 35 Grad Celsius werden dort ebenfalls erreicht. Warum ist es an den Polen so kalt?

Wer schon einmal einen Globus betrachtet hat, dem wird aufgefallen sein, daß die Achse, um die sich diese Nachbildung der Erde drehen läßt, schräg steht, also geneigt ist. Auch die Achse, um die sich die wirkliche Erdkugel dreht, ist um den gleichen Winkel geneigt. Da eine solche Neigung ganz verschiedenes bedeuten kann, müssen wir fragen: in bezug zu welcher anderen Richtung ist die Erdachse, die man auch Rotations- oder Polachse nennt, geneigt?

Die Erde dreht sich nicht nur alle 24 Stunden einmal um ihre Achse, sondern sie vollführt außerdem im Verlaufe eines Jahres eine fast kreisrunde Bewegung um die Sonne. Dieser Umlauf erfolgt in einer bestimmten Bahnebene. Stellen wir uns vor, die Erde würde wie eine Lokomotive auf einem gigantischen Schienenstrang rund um die Sonne fahren! Der Schienenstrang sei auf einem riesigen Brett montiert, das so eben wie eine Tischplatte ist. Dieses Brett entspräche dann der Ebene der Erdbahn um die Sonne. (Ganz genau genommen wäre nicht die Tischplatte selbst die Erdbahnebene, sondern eine gedachte Fläche, die in der Höhe des Erdmittelpunkts, also etwas über der Tischplatte, liegt.) Natürlich gibt es im Weltall weder einen Schienenstrang noch ein großes Brett. Der Vergleich sollte uns nur den Begriff *Bahnebene* veranschaulichen.

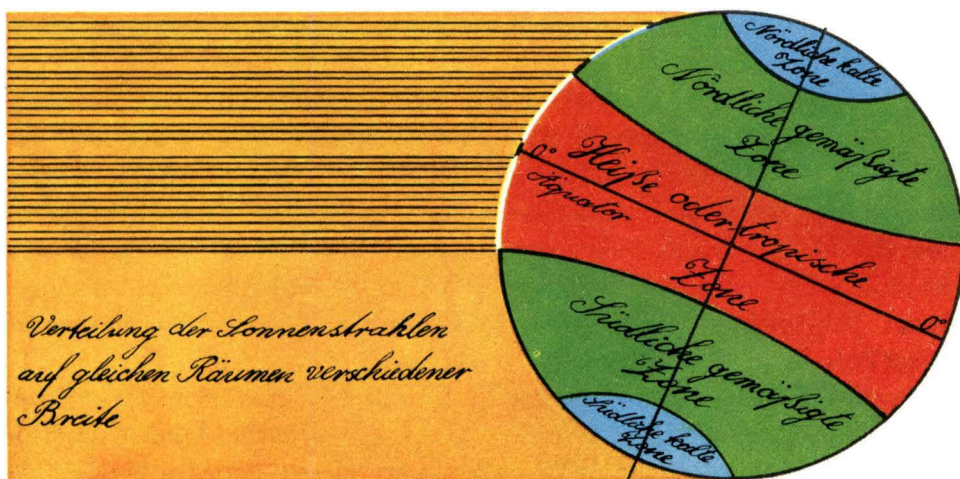
Aus der Neigung der Erdachse gegen die Erdbahnebene rührt der Wechsel der Jahreszeiten her. Denn durch diese Neigung sind abwechselnd die nördliche und die südliche Erdhalbkugel der Sonne in einem bestimmten Maße abgewandt. Unser Bild zeigt die Erde in verschiedenen Punkten ihrer Umlaufbahn um die Sonne. An dem mit *W* bezeichneten Punkt hat die Nordhalbkugel der Erde Winter und die Südhalbkugel Sommer, am Punkt *S* hat umgekehrt die Nordhalbkugel Sommer und die Südhalbkugel Winter. Die Stellungen *F* und



So entstehen die Jahreszeiten

H entsprechen dem Frühling beziehungsweise dem Herbst. Wir sehen: Wenn der Norden Winter hat, ist die Nordhalbkugel etwas von der Sonne hinweg geneigt. Wenn im Norden Sommer herrscht, ist die Südhalbkugel von der Sonne hinweg geneigt.

Welche Folgen das hat, zeigt das nächste Bild. Die vielen waagerechten parallelen Linien in gleichen Abständen versinnbildlichen die Sonnenstrahlen, die zur Erde fallen. Auf der Erdoberfläche sind in gleichen Abständen kurze



Striche gezeichnet. Jeder Abschnitt zwischen zwei Strichen markiert also ein gleich großes Stück Erdoberfläche. Zählen wir einmal nach, wie viele Sonnenstrahlen auf die verschiedenen Abschnitte fallen! Ganz oben, in der Gegend des Nordpols, erhält die Erde in dieser Stellung – in unserem Bild ist Winter auf der Nordhalbkugel – überhaupt keinen Sonnenstrahl. Denn das ganze nördliche Polargebiet, die Arktis, ist der Sonne abgewandt.

Auf den sich nach Süden anschließenden Abschnitt fallen zu dieser Winterzeit auch nur wenige Sonnenstrahlen. Mehr erhält der mittlere, um den Äquator gelegene Teil. Dort ist es daher sehr warm. Dann schließt sich weiter nach Süden wieder eine Zone mit immer weniger Sonnenstrahlen an. Schließlich folgt ganz unten das südliche Polargebiet, die Antarktis, das besonders wenig Strahlen erhält.

Wenn auf der Nordhalbkugel Sommer ist, herrschen genau umgekehrte Verhältnisse: Die Arktis erhält dann ebenso wenig Sonnenstrahlen wie die Antarktis während des Nordwinters.

Wenn wir über einen kleinen Globus verfügen, können wir diesen Umlauf der Erde um die Sonne auf einer Tischplatte „nachspielen“. Dabei bewegen wir – wie in unserem Bild gezeigt – den Globus bei stets gleichbleibender Richtung der Erdachse (!) rund um eine Kerze, die in der Mitte des Tisches steht und die Sonne darstellt. Der Raum muß verdunkelt sein. Dann sehen wir, welche Teile der Erde von der Sonne beleuchtet sind und welche nicht.

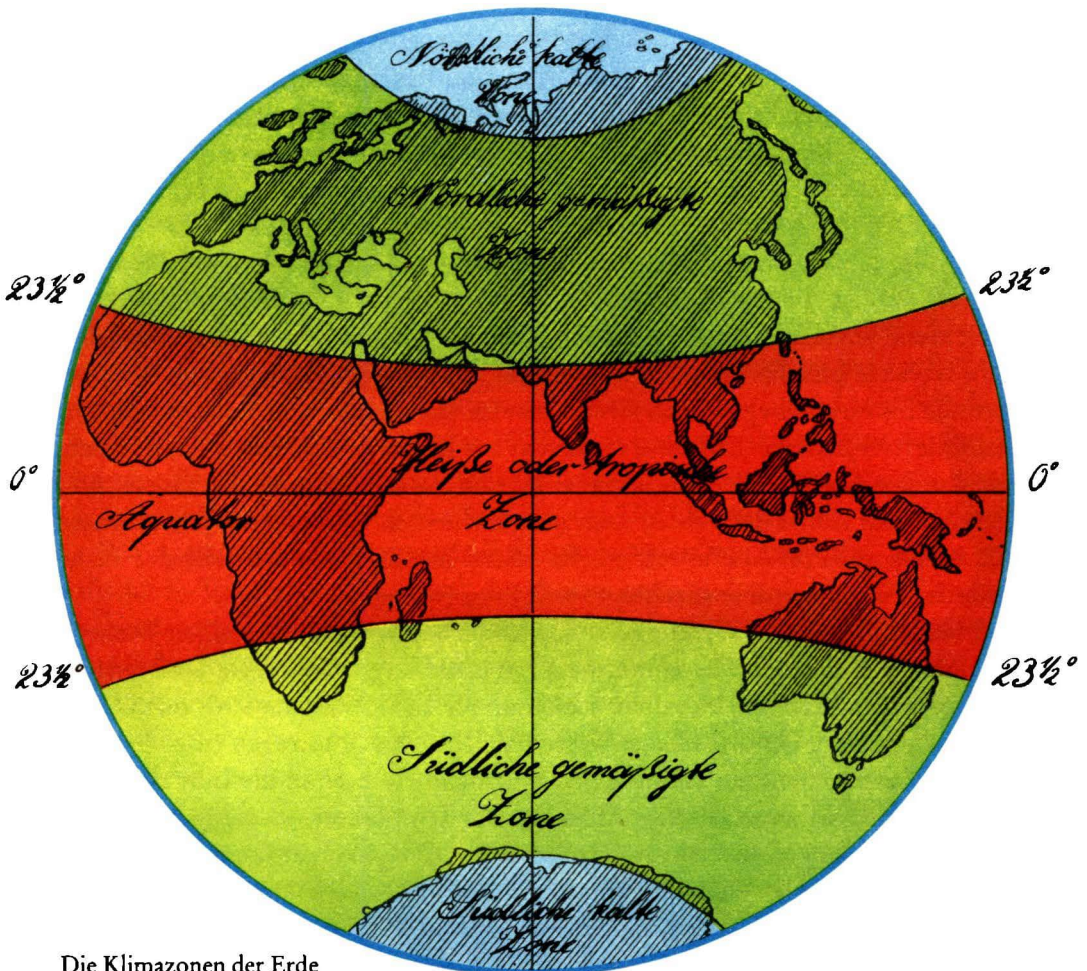
Jetzt drehen wir – wenn unser Globus so steht, daß die Nordhalbkugel Winter hat – die Erdkugel um ihre Polachse, entsprechend der täglichen Umdrehung unseres Planeten. Dabei stellen wir fest, daß das nördliche Polargebiet ständig im Schatten bleibt, also niemals Licht von der Kerze erhält. Das veranschaulicht, warum während des Nordwinters in der Arktis längere Zeit hindurch selbst dann, wenn der Uhrzeit nach Tag ist, die Sonne nicht mehr aufgeht, sondern ununterbrochen Nacht ist. Diese Polarnacht dauert um so länger, je weiter wir uns dem Nordpol nähern. Direkt am Nordpol dauert sie ein halbes Jahr.

Am Südpol geht dagegen während des Nordwinters die Sonne ein halbes Jahr lang nicht mehr unter. In der Antarktis ist dann Polarsommer und ununterbrochen Tag. Auch das zeigt uns der Versuch. Wie oft wir den Globus auch drehen, das Südpolargebiet bleibt immer im Licht der Kerze. Bringen wir nun den Globus auf die entgegengesetzte Seite des Tisches – so wie die Erde im Bild auf Seite 35 am Punkt S steht –, sind die Verhältnisse genau umgekehrt. Jetzt herrscht am Nordpol ununterbrochen Tag und am Südpol die lange Polarnacht.

Bei dieser Gelegenheit können wir uns schließlich noch den Wechsel von Tag und Nacht veranschaulichen. Er entsteht nicht durch den Umlauf der Erde um die Sonne, sondern durch die Umdrehung unseres Planeten um die Pol-

achse. Jedes Gebiet der Erdoberfläche – mit Ausnahme der Arktis und der Antarktis – gerät dabei abwechselnd auf die der Sonne zu- und die ihr abgewandte Seite. Wenn wir uns auf der abgewandten befinden, steht die Sonne nicht am Himmel, und daher ist dunkle Nacht. Morgen- und Abenddämmerung herrschen während des Übergangs von der sonnenabgewandten zu der ihr hingewandten Seite beziehungsweise umgekehrt. Dann ist die Sonne zwar morgens noch nicht oder abends nicht mehr über dem Horizont zu sehen, würden wir aber mit einem Ballon in große Höhen aufsteigen, könnten wir sie noch sehen. Die Luftteilchen, die sich dort oben befinden, werden also noch vom Sonnenlicht getroffen und werfen es in weitem Umkreis zur Erdoberfläche. Daher ist es auch, wenn die Sonne ein Stück unter dem Horizont steht, schon beziehungsweise noch etwas hell auf der Erde.

Doch zurück zu den Polen der Erde! Daß es dort so kalt ist, beruht nicht nur darauf, daß sie weniger oder gar keine Sonnenstrahlen bekommen. Rechnet



man mit ein, daß zum Beispiel während des Nordsommers die Sonne in der Arktis ununterbrochen scheint, während es in den anderen, nichtpolaren Gebieten zwischendurch immer wieder Nacht wird, so ergibt sich sogar, daß am Nordpol eine Zeitlang mehr Sonnenstrahlen zur Erde fallen als in der heißen Zone am Äquator. Trotzdem entsteht dadurch am Pol kein heißes Klima. Das verhindert die Eis- und Schneedecke. Eis und Schnee werfen nämlich bis zu 95 Prozent der Sonnenstrahlen wieder zurück in den Weltraum, ohne daß diese zur Erwärmung der Erdoberfläche beitragen konnten.

Außerdem wird die Luft nur zu einem geringen Teil durch die Sonnenstrahlen selbst erwärmt, sondern zum größeren Teil durch den Erdboden. Dieser wirkt also wie ein Ofen, der die Luft heizt. An den Polen mit ihrer Eis- und Schneedecke ist dieser „Ofen“ aber ständig kalt. Wenn sich also erst einmal eine Eisdecke gebildet hat, so trägt sie selbst zu noch weiterer Verschärfung der Kälte bei.

Unter dem Eis der Antarktis liegt ein großer Erdteil, der sechste Kontinent: Antarktika. Er ist der unwirtlichste Kontinent der Erde und für Menschen normalerweise unbewohnbar. Auch Tiere und Pflanzen gibt es lediglich an seinen Küsten, nicht aber auf dem Inlandeis. Nur mit großem Aufwand an technischen Hilfsmitteln können dort einige Menschen in wissenschaftlichen Stationen leben und die Antarktis erforschen. Das Gebiet um den Nordpol ist dagegen ein Meer, das jedoch ebenfalls ständig von Eis bedeckt ist.

Infolge der Neigung der Rotationsachse der Erde sind die Polargebiete zwar ständig vereist. Für das Klima der Erde insgesamt bringt die geneigte Achse aber mehr Vorteile als Nachteile. Der durch die Neigung bedingte Wechsel der Jahreszeiten gleicht nämlich das Klima der verschiedenen geografischen Breiten bis zu einem gewissen Grade aus. Extreme Hitze und Kälte werden so gemildert. Stünde die Erdachse senkrecht zur Ebene der Erdbahn, dann hätten gleiche geografische Breiten jahraus, jahrein dasselbe Klima. Im Gürtel um den Äquator führte das Fehlen einer ausgleichenden Wirkung der Jahreszeiten dazu, daß auf ihm eine unerträgliche Hitze lastete, die weite Teile der Erde praktisch unbewohnbar machte.

Eine ausgleichende Wirkung auf das Klima haben auch die riesigen Wasserflächen der Erde. Das Wasser nimmt Wärme viel langsamer auf als das Festland und gibt sie auch weit langsamer wieder an die Luft ab als der Erdboden. Dadurch bilden die Ozeane riesige Wärmespeicher. Sie übertragen einen großen Teil der im Sommer aufgenommenen Wärme im Winter an die Luft und verhindern dadurch ein zu starkes Absinken der Temperatur. Je weiter allerdings ein Gebiet von den Meeresküsten entfernt ist, desto weniger kommt ihm diese klimaausgleichende Wirkung zugute. Daher ist das Klima inmitten sehr großer Kontinente – wie zum Beispiel in Mittelasien – durch sehr große Temperaturgegensätze zwischen Sommer und Winter gekennzeichnet. Für

dieses als kontinental bezeichnete Klima sind äußerst kalte Winter und sehr heiße Sommer typisch. In der Nähe der Küsten herrscht dagegen ein maritim genanntes Klima, in dem milde Winter und kühle Sommer vorherrschen.

Schließlich wirkt sich auch die verhältnismäßig schnelle Aufeinanderfolge von Tag und Nacht ausgleichend auf das Klima der Erde aus. Würde wie auf manchen anderen Planeten ein Tag sehr viel länger dauern als bei uns, so entstünden auf der Tagseite infolge der langen Sonnenscheindauer wesentlich höhere Temperaturen, und während der ebenfalls sehr langen Nacht sanken sie erheblich tiefer ab.

Wissenschaftler haben berechnet, bei welcher Neigung der Erdachse die beste ausgleichende Wirkung erzielt wird. Das Ergebnis lautet: bei 23 bis 24 Grad. Die tatsächliche Neigung der Erdachse gegen eine auf der Erdbahnebene stehende Senkrechte beträgt $23\frac{1}{2}$ Grad. In dieser Hinsicht ist die Erde also die „beste der möglichen Welten“, wie es der deutsche Philosoph Gottfried Wilhelm Leibniz schon vor Jahrhunderten einmal ausdrückte, obwohl er die erwähnte Berechnung noch nicht kannte.

Was sind Eisberge?

In den Gebieten der hohen nördlichen und südlichen Breitengrade schwimmen im Ozean Inseln, die ganz aus Eis bestehen. Manche sind so groß, daß Städte wie Berlin oder Leipzig darauf reichlich Platz fänden. Man nennt diese Gebilde Eisberge. Einige haben 20, 30, 50, ja sogar 100 Kilometer Durchmesser. 1977 wurde ein 74 Kilometer langer und 40 Kilometer breiter Eisberg gesichtet. Er enthält so viel gefrorenes Wasser, daß man 3 Millionen Einwohner einer Großstadt 5000 bis 7000 Jahre lang mit Trinkwasser versorgen könnte. Die meisten Eisberge sind allerdings kleiner und erreichen nur einige hundert Meter bis einige Kilometer Größe. Die Oberfläche der aus der Antarktis stammenden Eisberge ist zunächst meist glatt wie eine Tafel. Man nennt sie daher Tafel Eisberge. Die aus der Arktis nach Süden driftenden Eisberge haben unregelmäßige, bizarre Formen. Beim allmählichen Abschmelzen verwandeln sich aber auch die Tafel Eisberge in Gebilde mit spitzen Zacken und Graten, mit Grotten und Nischen. Die ständig anstürmenden Wellen nagen in Höhe der Wasserlinie Vertiefungen aus dem Eisberg heraus, Brandungskehle genannt.

Was man über dem Wasser sieht, ist nur der kleinste Teil des Eisberges. Eis schwimmt auf dem Wasser, weil es leichter als dieses ist. Aber es ist nur wenig leichter. Daher befinden sich 80 bis 90 Prozent der Eismasse unter Wasser, je nachdem, wieviel Steine mit eingeschlossen sind. Hat ein Eisberg über dem Meeresspiegel die durchschnittliche Höhe von etwa 30 Metern, reicht er

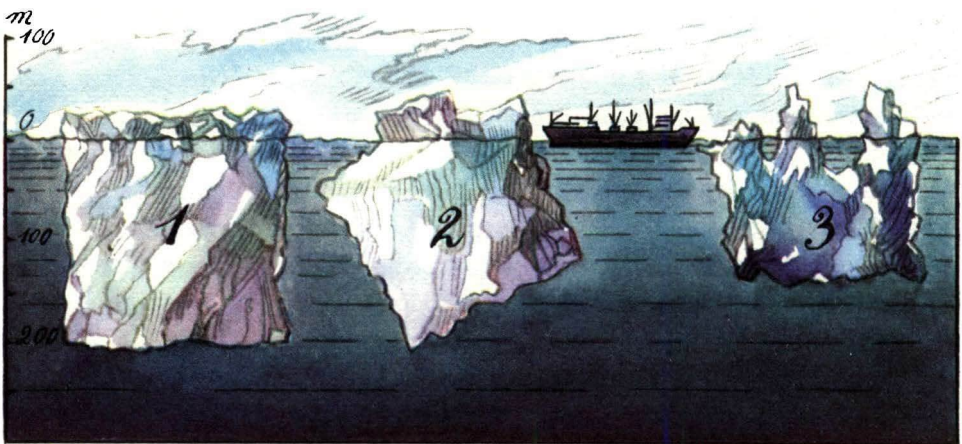
150 bis 300 Meter tief ins Wasser. Unter Wasser weist er häufig einen größeren Durchmesser auf, weil der über Wasser ragende Teil schneller schmilzt.

Durch das ungleiche Abschmelzen ändern sich die Form und das Verhältnis der über und unter Wasser befindlichen Teile vieler Eisberge so, daß sie plötzlich mit donnerndem Getöse umkippen. Dann ragt ihre rundliche Unterseite, die durch Bewuchs mit vielen winzigen Pflanzen inzwischen grünlich gefärbt ist, aus dem Wasser. Auch zerbersten die großen Eisberge irgendwann beim Schmelzen in kleinere.

Wie können derartige schwimmende Eisriesen entstehen? Wir wissen bereits, daß die Gletscher des Inlandeises der Kaltzeiten in eine langsame Fließbewegung gerieten und immer weiter vordrangen. Nicht anders ergeht es den gigantischen Inlandeismassen, die den Kontinent Antarktika und die im nördlichen Polargebiet gelegene große Insel Grönland bedecken. Wenn sie dabei den Rand des Festlandes überschreiten, brechen große Eisblöcke ab. Man sagt, die Gletscher kalben. Besonders an der Küste Antarktikas stauen sich dadurch riesige „Eislandschaften“ auf, die dem Land gar nicht mehr aufsitzen, sondern auf dem flachen Meeresboden ruhen, der der Küste vorgelagert ist. Diese küstennahen flachen Teile des Meeresgrundes heißen Schelfe und das darauf lastende Eis Schelfeis. Davon lösen sich riesige Tafeln ab und treiben ins Meer hinaus.

Wenn die Eisberge bei ihrer Wanderung auf Sandbänke (besonders flache Meeresstellen) stoßen, können sie dort jahrelang hängenbleiben wie Schiffe, die auf Grund gelaufen sind. In der Nähe des antarktischen Kontinents findet man solche dichten Ansammlungen festliegender Eisberge im Meer.

Die auf Grund gelaufenen Eisberge werden jedoch im allgemeinen nach längerer oder kürzerer Zeit wieder flott, weil allmählich etwas von den unteren



1 Tafelberg in ursprünglicher Form

2 kenternder Eisberg mit Brandungskehle

3 stark abgeschmolzener und erodierter „Trockeneisberg“



Eisberg im Seegebiet von Grönland

Schichten des Eises abschmilzt. Wenn dann wieder einmal besonders kräftige Flutwellen eintreten, werden die Eisberge vom Grund abgehoben und begeben sich auf die Weiterreise. Dabei gelangen sie schließlich in wärmere Gebiete und schmelzen dort immer mehr ab. Bevor sie ganz geschmolzen sind, dringen sie manchmal bis etwa 30 Grad nördlicher oder 25 Grad südlicher Breite vor, also in Gegenden, in denen es schon sehr warm ist und die Seefahrer kaum noch mit Eisbergen rechnen. In manchen Jahren werden monatlich über 1000 Eisberge gesichtet.

Eisberge bilden eine große Gefahr für die Schifffahrt. Beim Zusammenstoß mit einem solchen Koloß kann der Schiffsrumpf aufreißen und das Schiff untergehen. 1912 stieß ein mit Passagieren voll besetzter Luxusdampfer, die *Titanic*, auf der Fahrt von Europa nach Nordamerika bei Nacht auf einen Eisberg und sank. Die meisten Menschen ertranken. Nach dieser Katastrophe hat man begonnen, einen internationalen Warndienst zu organisieren. Speziialschiffe und Flugzeuge, neuerdings auch künstliche Erdsatelliten über-

wachen ständig große Seegebiete und registrieren das Wandern der Eisberge.

Wenn Schiffe durch die gefährdeten Gebiete fahren, müssen ihre Besatzungen schärfste Obacht geben. Besonders schwierig ist es, bei Nebel und Schneegestöber Eisberge rechtzeitig zu erkennen. Hilfe leisten Radargeräte. Sie senden elektromagnetische Wellen aus. Diese werden von Hindernissen zurückgeworfen wie Licht von einem Spiegel. Dadurch treffen sie nach einer gewissen Zeit wieder auf dem Radarempfänger des Schiffes ein. Da sich die Wellen mit der Geschwindigkeit von 300 000 Kilometern je Sekunde ausbreiten, beträgt die Zeit, die zwischen Aussendung und Rückkehr vergeht, nur Hunderttausendstelsekunden. Dennoch kann man sie genau messen und daraus den Abstand bis zum Eisberg errechnen. Weil jedoch auch hohe Wasserwellen Radarsignale reflektieren, ist das Verfahren bei starkem Seegang nicht ganz zuverlässig.

Das Gebiet um den Nordpol ist, wie wir wissen, nicht von einer Landmasse, sondern von Meer bedeckt. Aus diesem Grund können dort keine Gletscher entstehen, von denen Eisberge abbrechen. Aber es bilden sich riesige Schollen aus viele Meter dickem Eis. Auch sie driften. Wegen ihrer geringen Dicke schmelzen sie schon in höheren geografischen Breitengraden und gelangen nicht so weit in wärmere Gebiete wie die antarktischen Eisberge. Die Eisberge im Nordatlantik stammen daher nicht aus dem Arktischen Ozean, sondern hauptsächlich von den Gletschern der Insel Grönland.

Viele der im Arktischen Ozean entstehenden Eisschollen sind so groß, daß geschickte Piloten darauf mit einem Flugzeug landen können. Auf diese Weise errichteten sowjetische Flieger und Polarforscher 1937 zum ersten Mal eine wissenschaftliche Station auf einer großen Eisscholle. Man kann auf solchen Schollen durch den Arktischen Ozean und die angrenzenden nördlichen Meere driften und wichtige Untersuchungen über die Wetter- und Eisverhältnisse, über Meerestiefen und Meeresströmungen durchführen. Inzwischen wurden mehr als zwanzig weitere driftende *Nordpol-Stationen* eingerichtet. Das Leben auf einer Scholle ist nicht ungefährlich. Sie bricht manchmal unerwartet auseinander. Bevor sie so weit südlich driftet, daß sie in bedrohlichem Maße schmilzt und zerbricht, müssen die Forscher durch Flugzeuge geborgen werden. Wochenlanges Nebel kann das aber verhindern. So haben die Forscher nicht selten große Gefahren zu durchstehen. Manchmal konnten sie nur durch riskante Unternehmen mit Eisbrechern gerettet werden. Eisbrecher sind Spezialschiffe mit einem besonders leistungsfähigen Antrieb und einer starken Außenhaut, vor allem am Bug. Sie schieben sich mit ihrem abgeflachten Vorsteven auf die Eisdecke, zerbrechen sie durch ihr Eigengewicht und schaffen so eine Fahrrinne.

Untergang der *Titanic* nach dem Zusammenstoß mit einem Eisberg



Planeten – Sonnen – ferne Welten

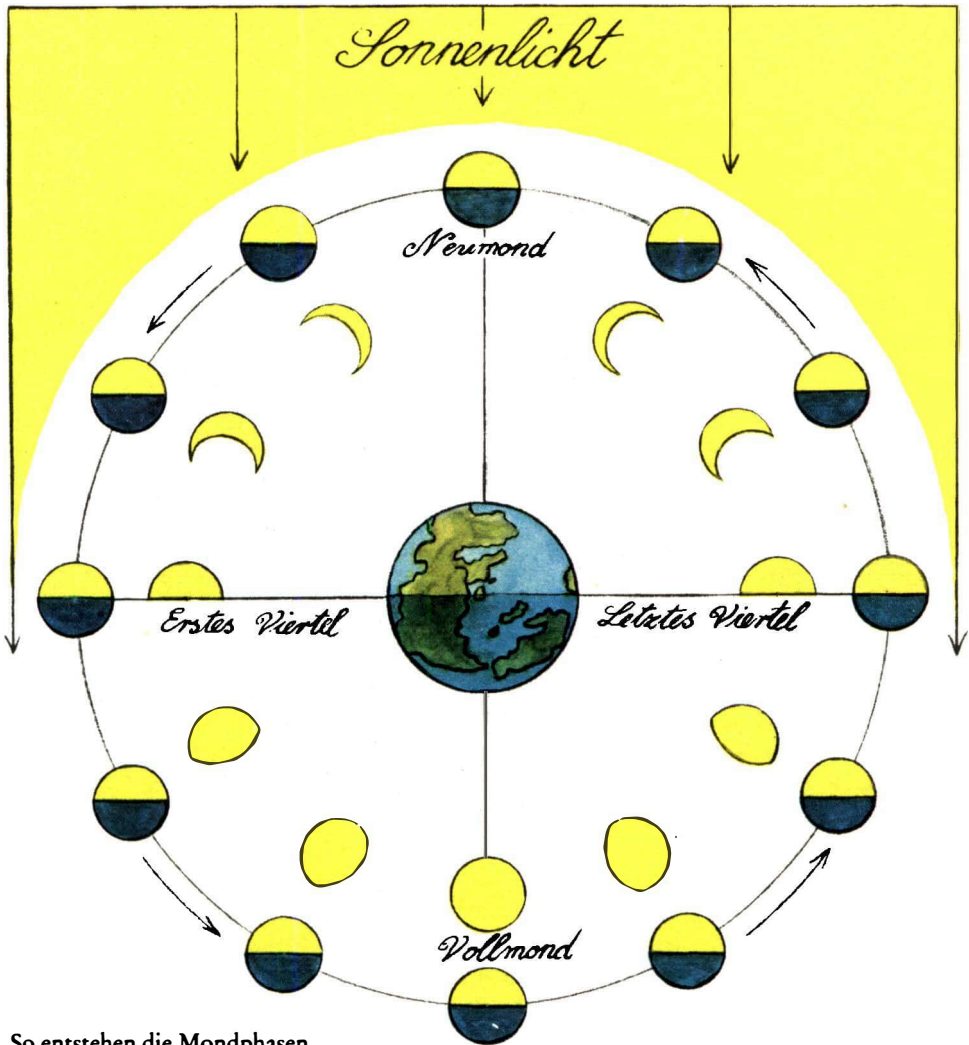
Warum ist der Mond nicht immer rund?

Vor Jahrtausenden glaubten viele Menschen, daß der Mond – er ist der Trabant, der Begleiter, der Erde – alle vier Wochen neu entsteht. Dann würde er zu seiner vollen Größe anwachsen, danach wieder abnehmen und vergehen. Sein wechselndes Aussehen verleitete sie zu der irrigen Ansicht. Man nennt die verschiedenen Anblicke, die uns der Mond bietet, die Mondphasen. Sie wiederholen sich ständig in der gleichen Reihenfolge. Die erste Phase ist der Neumond. In diesem Zeitraum sehen wir den Erdtrabanten selbst dann nicht, wenn er an unserem Himmel steht. Daraus können wir bereits schließen, daß er kein eigenes Licht aussendet, sondern ebenso wie die Erde von der Sonne angestrahlt wird. Unter besonders günstigen Bedingungen ist er mit dem Feldstecher allerdings auch in der Neumondphase als schwach erhellte, aschgraue Scheibe zu sehen. Dann nämlich, wenn unsere Erde so viel Sonnenlicht in den Weltraum zurückstrahlt, daß es ausreicht, um den Mond schwach zu beleuchten.

Nach dem Neumond zeigt sich der Trabant als eine schmale, nach links offene Sichel. Sie wird von Nacht zu Nacht breiter, bis sie nach etwa einer Woche zum Halbkreis angewachsen ist. Diese Phase heißt erstes Viertel, weil jetzt das erste Viertel eines vollen Zyklus der Phasen erreicht ist. Nach etwa einer weiteren Woche ist der Halbmond zum Vollmond geworden. Danach beginnt der Erdtrabant wieder abzunehmen. Dabei werden vom rechten Rand ausgehend immer größere Teile der Scheibe für uns unsichtbar. Im letzten Viertel ist er wieder zum Halbmond geworden, dem diesmal aber die rechte Hälfte „fehlt“. Er gewinnt zunehmend Sichelgestalt, bis er für uns erneut unsichtbar, das heißt zum Neumond wird. Zwischen Neumond und Vollmond spricht man vom zunehmenden, zwischen Vollmond und Neumond vom abnehmenden Mond.

Wie die Mondphasen entstehen, zeigt unser Bild. Bei Neumond steht der Trabant zwischen Erde und Sonne. Folglich wendet er uns seine unbeleuchtete, der Sonne abgewandte Seite zu. Im ersten und letzten Viertel befindet er sich seitlich einer gedachten Verbindungslinie Sonne–Erde. Folglich können wir nur eine, die von der Sonne beleuchtete Mondhälfte sehen. Bei Vollmond steht die Sonne hinter uns und der Mond vor uns. Deshalb liegt er jetzt – von unserem Standpunkt auf der Erde aus betrachtet – voll im Licht der Sonne.

Mondfinsternisse können daher nur bei Vollmond eintreten. Denn dabei wird der Mond durch den Schatten verfinstert, den die Erde auf ihn wirft. Um-



So entstehen die Mondphasen

gekehrt können sich Sonnenfinsternisse nur bei Neumond ereignen. Denn die Verfinsterung der Sonne wird dadurch hervorgerufen, daß der Mond – vom Standpunkt des Betrachters aus gesehen – vor die Sonnenscheibe tritt und sie ganz oder teilweise verdeckt. Es ist ein Zufall der Natur, daß Sonne und Mond von der Erde aus gesehen ziemlich gleich groß erscheinen, obwohl die Sonne in Wirklichkeit sehr viel größer ist. Daher kann der Mond die Sonne vollständig verdecken. Die scheinbare Gleichheit ihrer Größe beruht darauf, daß der Mond der Erde sehr viel näher als die Sonne ist. Aber nicht bei jedem Neubeziehungsweise Vollmond gibt es eine Sonnen- oder Mondfinsternis.

Manchmal ist der Mond von einem hellen Schimmer umgeben. Man sagt: Er hat einen Hof. Diese Erscheinung wird weder von der Sonne noch vom Mond

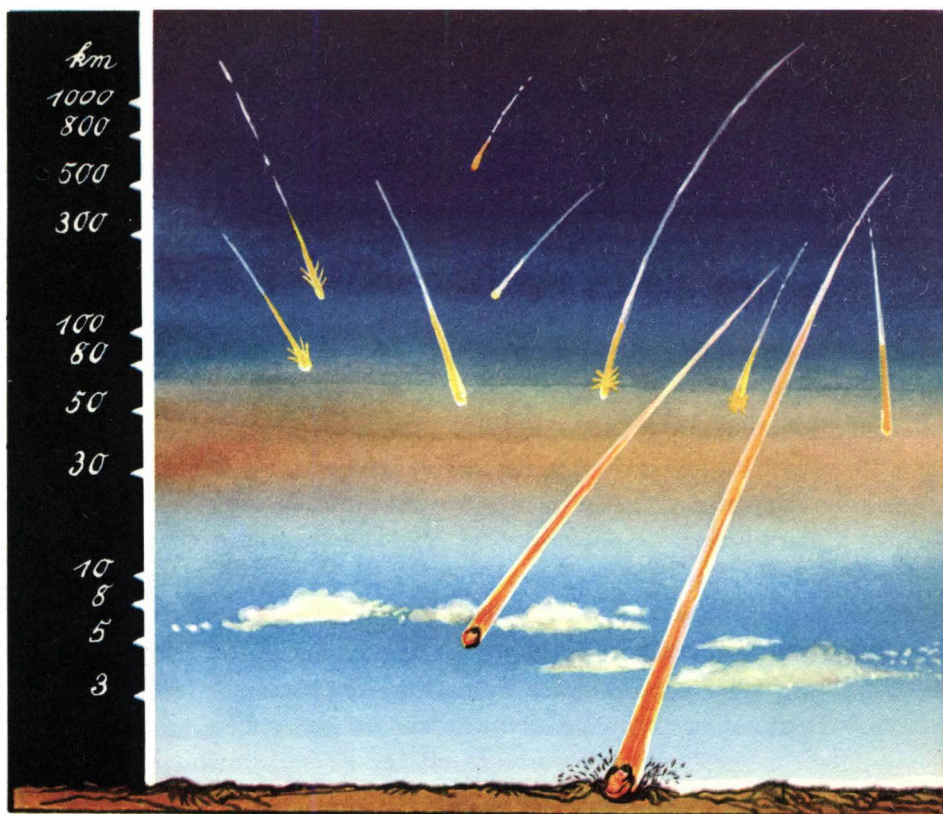
selbst hervorgerufen; sie entsteht in der Lufthülle, welche die Erde umgibt. Wer aufmerksam beobachtet, dem ist vielleicht schon aufgefallen, daß ein Mondhof häufig dann zu sehen ist, wenn schon tags zuvor Dunst herrschte. Dunst besteht – ebenso wie die Wolke – aus lauter sehr winzigen Wassertröpfchen, die in der Luft schweben. Nur sind sie im Dunst noch nicht so dicht angeordnet wie in der Wolke. Daher ist Dunst durchsichtiger als eine Wolke. Die vielen Wassertröpfchen zerstreuen das Mondlicht regellos in die verschiedensten Richtungen. Dadurch erscheint die Luft von Licht erfüllt. Aus den gleichen Ursachen sehen wir Tabakrauch. Er besteht aus vielen schwebenden Teilchen, die selbst unsichtbar klein sind. Nur das von ihnen zerstreute Licht sieht man.

Eine ebenfalls durch die Luft verursachte Erscheinung ist das Funkeln der Sterne. Es scheint, als ob diese schnell wechselnd einmal heller, einmal etwas dunkler leuchten. Sogar ihre Farbe scheint sich etwas zu verändern. Beides ist in Wirklichkeit nicht der Fall. Die Kosmonauten sehen von ihren Raumschiffen aus die Sterne niemals funkeln, sondern immer in gleicher Helligkeit und Farbe. Denn sie fliegen in 200 oder mehr Kilometer Höhe und haben dort die dichte Lufthülle der Erde bereits unter sich. Das Funkeln entsteht nämlich, wenn das Licht auf seinem Wege zur Erdoberfläche nacheinander Luftschichten mit unterschiedlichen und sich ständig verändernden Eigenschaften – kältere und wärmere, trockenere und feuchtere – durchdringt. Dadurch wird das Licht abgelenkt und verändert.

Was sind Sternschnuppen?

Auch diese reizvolle Erscheinung könnten wir ohne die Atmosphäre genannte Gashülle der Erde nicht sehen. Sternschnuppen sind schnell über den Himmel ziehende leuchtende Pünktchen. Sie werden sichtbar, wenn ein kleiner fester Körper aus Stein oder Eisen aus den Weiten des Weltraums in Richtung Erde fällt. Man nennt solche Körper Meteorite. Sie fliegen mit Geschwindigkeiten bis zu 70 Kilometer je Sekunde, das heißt etwa siebenmal schneller als ein künstlicher Erdsatellit. Infolge der hohen Geschwindigkeit entsteht zwischen dem Meteoriten und den Gasteilchen der Atmosphäre eine starke Reibung. Dadurch wird nicht nur der Meteorit glühend heiß, sondern auch die Gasteilchen werden in einen Zustand versetzt, bei dem sie Licht aussenden. Der Meteorit ist so klein, daß wir ihn auf die große Entfernung auch in glühendem Zustand nicht sehen können. Nur das Leuchten der Gasteilchen entlang der Bahn des Meteoriten ist sichtbar. Diese Leuchterscheinung nennt man *Meteor*, die Teilchen, welche die Leuchtspur hervorrufen, *Meteorite*.

Als Sternschnuppen werden solche Meteore bezeichnet, die eine bestimmte



Kleine feste Körper, die aus dem Weltraum in hohe Schichten der Erdatmosphäre einfallen, erzeugen dort Leuchtspuren, die Sternschnuppen. Sie fallen auch am Tage, sind aber nur nachts zu sehen. Größere Körper zerplatzen in tieferen Schichten der Atmosphäre. Sehr große Meteorite, die am Erdboden einen Einschlagkrater erzeugen, sind äußerst selten

Helligkeit nicht überschreiten. Noch hellere Meteore heißen Feuerkugeln. Sternschnuppen werden durch Meteorite erzeugt, die nur einen Millimeter bis einige Zentimeter groß sind. Die Meteore entstehen meist in Höhen von 110 bis 90 Kilometern, also weit über den Wolken. Daher können sie nur an wolkenlosen Stellen des Himmels gesehen werden. Besonders häufig können wir sie in bestimmten Nächten beobachten, so zwischen dem 20. und 23. April, dem 29. Juli und 17. August, dem 18. und 26. Oktober und dem 14. und 26. November. In diesen Zeiten kreuzt die Erde bei ihrem Umlauf um die Sonne nämlich Ströme von Meteoriten, die sich auf bestimmten, ungefähr gleichbleibenden Bahnen durch den Kosmos bewegen.

Meteorite fallen freilich nicht nur nachts, sondern auch am Tage zur Erde. Nur wird ihre schwache Leuchtspur in der Atmosphäre dann von dem sehr viel helleren Sonnenlicht überstrahlt. Sie sind von unterschiedlicher Größe. Die kleinsten heißen Mikrometeorite; wir könnten sie nur unter dem Mikro-

skop erkennen. Sie erzeugen keine sichtbare Leuchtspur. Sternschnuppen entstehen, wenn Meteorite von etwa einem Millimeter bis einigen Zentimetern Durchmesser in die Gashölle der Erde stürzen. Diese und auch die Mikrometeorite verglühen und verdampfen schon in der Atmosphäre, also bevor sie den Erdboden erreichen, ganz oder größtenteils. Äußerst selten sind bereits Meteorite ab etwa 10 Zentimeter Durchmesser. Die von ihnen erzeugten Feuerkugeln sind von Funkenschauern begleitet. Manche hinterlassen sogar einen längere Zeit nachleuchtenden Schweif. Häufig zerplatzen sie in mehrere kleine Stücke, die nicht vollständig in der Atmosphäre verglühen, sondern von denen Reststücke bis zur Erdoberfläche fallen. Gelingt es, diese Sendboten aus dem Kosmos zu bergen, so kann man mit ihrer Hilfe wissenschaftlich wichtige Aufschlüsse über die Zusammensetzung von Himmelskörpern gewinnen.

Am seltensten sind Riesenmeteorite mit Hunderten oder sogar mehreren tausend Metern Durchmesser. Wenn sie auf der Erde auftreffen, verursachen sie riesige Krater. Eine solche Einschlagstelle ist im Canyon Diablo im US-Staat Arizona noch heute deutlich zu erkennen, obwohl der Meteorit schon vor vielen Jahrtausenden niederging. Dieser Krater mißt 1260 Meter im Durchmesser und 175 Meter in der Tiefe. Man vermutet, daß der Meteorit bei seinem Niedergang in unzählige kleine Stücke zerplatzte.

Auf der Erde werden Krater durch Wind und Regen allmählich eingeebnet und dadurch unauffällig. Auf dem Mond und solchen Planeten, die keine Atmosphäre und daher auch keinen Wind und Regen haben, bleiben sie dagegen jahrmilliardenlang erhalten. Daher sind auf der Mondoberfläche ungezählte große und kleine Krater zu erkennen. Manche von ihnen sind zwar vulkanischen Ursprungs, aber sehr viele stammen von Meteoriten. Auch auf der Erde sind in früheren Zeiten viele Riesenmeteorite eingeschlagen. Ihre Krater sind heute nicht mehr zu erkennen, doch die Geologen können an bestimmten Merkmalen auch nachträglich feststellen, wo einst riesige Meteorite in die Erdkruste eingedrungen sind.

Vor Jahrmilliarden kreuzten sehr viel mehr Riesenmeteorite durch den Weltraum. Da die meisten von ihnen inzwischen auf den Mond, die Erde und andere Planeten gefallen sind, ist der Kosmos mittlerweile von ihnen fast „leer gefegt“. Darum sind Einschläge von Riesenmeteoriten äußerst selten geworden. Wissenschaftler berechneten, daß im Durchschnitt nur noch alle 1 Million Jahre einer mit mehreren Kilometern Durchmesser zu erwarten ist.

Was sind Kometen?

Zu den schönsten, aber ebenfalls sehr seltenen Erscheinungen am Himmel zählen die Kometen. Sie bestehen jeweils aus einem Kern, der wie das Lichtpünktchen eines Sterns aussieht. Er ist umgeben von einem neblig verwaschenen Lichtfleck, Koma genannt. Daran schließt sich ein langer, ebenfalls nebelartig aussehender Schweif an. Er kann sehr verschiedene Längen haben. Es wurde schon ein 250 Millionen Kilometer langer Schweif beobachtet.

Zu einer auffälligen Erscheinung wird ein Komet jedoch nur dann, wenn er der Sonne und der Erde sehr nahe kommt. Dann läßt die Sonnenstrahlung Bestandteile aus seinem festen Kern „verdampfen“. Dadurch bildet sich die Koma. Sie umgibt den Kometenkern. Während dieser einen Durchmesser von höchstens 100 Kilometern hat, dehnt sich die Gashülle 1000- bis 10000mal weiter aus. Das Gas reflektiert das Sonnenlicht und wird durch energiereiche Strahlen der Sonne auch selbst zum Leuchten gebracht.

Ein Teil des Komagases wird „nach hinten geblasen“, etwa so, wie der Wind die Rauchfahne eines mit Dampf getriebenen Schiffes nach hinten weht. Es gibt nämlich auch im Weltraum eine Art Wind. Er besteht aber nicht wie der auf der Erde aus vielen bewegten Luftteilchen, sondern aus Teilchen, die von der Sonne ständig nach allen Seiten in den Weltraum geschleudert werden. In diesem Sonnenwind sind die Teilchen unvergleichlich lockerer, weniger dicht angeordnet als die Gasteilchen in der Luft. Ein weiterer Unterschied: Der Sonnenwind bewegt sich mit Geschwindigkeiten von 400 bis 700 Kilometern je Sekunde, wohingegen irdischer Wind nur etwa 30 Meter je Sekunde erreicht. Durch bestimmte Auswirkungen der rasend schnellen Teilchen des Sonnenwindes sowie durch den Druck, welchen das Sonnenlicht auf die Gasteilchen der Koma ausübt, wird der Schweif aus der Kometenhülle geblasen. Er ist daher stets von der Sonne weggerichtet.

Auch die Kometen bewegen sich um die Sonne, aber nicht auf fast kreisförmigen Bahnen wie die Erde und die Mehrzahl der anderen Planeten. Ihre Bahnen sind meist sehr stark elliptisch. Daher entfernen sich die Kometen weit von der Sonne, nähern sich ihr dann wieder an, entfernen sich erneut und so fort in ständigem Wechsel. Bei jeder Annäherung an die Sonne verdampft ein Teil des Kometenkerns. Die Bestandteile des Kerns zerstreuen sich daher immer mehr entlang seiner Umlaufbahn. Auf diese Weise sind die schon erwähnten Meteoritenströme entstanden, welche die Erde auf ihrer Bahn um die Sonne an bestimmten Tagen des Jahres kreuzt. Die Astronomen schätzen, daß es 10 Millionen oder sogar 10 Milliarden Kometen gibt. Die weitaus meisten bewegen sich jedoch auf sehr fernen Bahnen und kommen der Sonne niemals so nahe, daß wir sie sehen könnten. Entdeckt wurden bisher nur etwa 1600 Kometen. Die meisten davon sind nur im Fernrohr zu erkennen.

Warum merken wir nicht, daß sich die Erde dreht?

Vielleicht haben wir schon einmal folgendes erlebt: Wir sitzen in einem Zug, der gerade aus dem Bahnhof abfährt. Auf dem Nebengleis befindet sich auch ein Zug. Wenn wir aus dem Fenster auf diesen Zug schauen, wissen wir zunächst nicht, ob unser Zug oder der auf dem Nebengleis fährt. Erst wenn wir zur entgegengesetzten Seite durchs Fenster auf den Bahnhof blicken, von dem wir wissen, daß er sich nicht bewegt, erkennen wir eindeutig, daß unser Zug und nicht der auf dem Nebengleis fährt. Wir lernen daraus: Nicht jede Bewegung kann man spüren. Wir empfinden sie überhaupt nicht, wenn sie mit genau gleichbleibender Geschwindigkeit und in derselben Richtung erfolgt. Wären die Schienen so glatt und das Fahrwerk des Zuges so gut, daß wir niemals ein Rütteln spürten, ließen sich auch alle Fahrgeräusche beseitigen und würden die Fenster verhängt, so daß wir die Landschaft nicht vorüberziehen sehen könnten, so wären wir nicht imstande festzustellen, ob der Zug fährt oder steht. Nur wenn er bremste oder seine Geschwindigkeit erhöhte oder eine Kurve führe, könnten wir spüren, daß wir fahren.

Die Erde ist in dieser Hinsicht ein absolut ideales Fahrzeug. Sie erzeugt keine Fahrgeräusche, kein Rumpeln und Rütteln, und sie „fährt“ immer mit gleicher Geschwindigkeit. Die Geschwindigkeit, mit der sich die Erde um ihre eigene Achse dreht, bleibt sehr genau gleich. Auch auf der Bahn um die Sonne ändert die Erde im Verlaufe langer Zeit ihre Geschwindigkeit nur so geringfügig, daß wir diese leichten Abbremsungen und Geschwindigkeitserhöhungen überhaupt nicht spüren. (Sie bewegt sich nämlich im Winter etwas schneller um die Sonne als im Sommer; diese Änderung läßt sich nur auf Grund bestimmter Gesetzmäßigkeiten errechnen.)

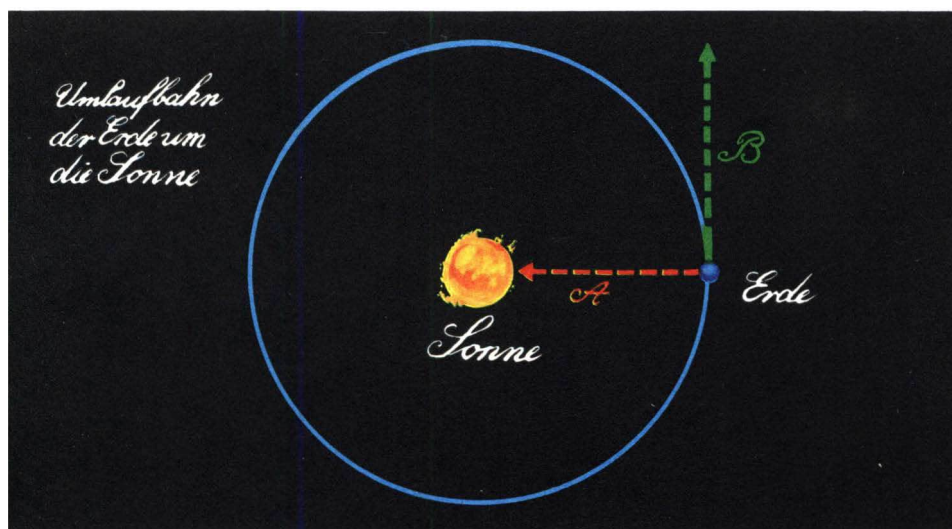
Da die Erde die Sonne auf fast kreisförmiger Bahn umläuft, bewegt sie sich strenggenommen niemals genau geradeaus, sondern stets auf einer leicht gekrümmten Bahn. Weil aber die Erdbahn sehr groß ist – ihr Durchmesser beträgt rund 300 Millionen Kilometer –, ist die Krümmung zu schwach, als daß wir diese Abweichung aus der Geraden spüren könnten. Das gleiche gilt für die Kreisbewegung, die wir an der Erdoberfläche infolge der Umdrehung der Erde um ihre Achse täglich vollführen. Auch der Durchmesser dieses Kreises ist noch zu groß, um die winzige Abweichung aus der Geraden zu empfinden. Außerdem kommt hierbei noch etwas anderes hinzu, das uns ein Vergleich mit dem Karussellfahren veranschaulicht.

Besonders auf dem Kettenkarussell spüren wir bei schneller Umdrehung eine Kraft, die uns vom Drehpunkt hinwegdrängt. Sie bewirkt, daß wir an den Ketten nicht gerade nach unten hängen, sondern nach außen getrieben werden, so daß die Ketten schräg hängen. Einer solchen Kraft, sie heißt Zentrifugalkraft, sind wir auch infolge der Umdrehung (Rotation) der Erde dauernd

ausgesetzt. Wir spüren von ihr aber nichts, weil gleichzeitig eine andere Kraft auf uns einwirkt: die Schwerkraft oder Gravitation. Mit ihr ziehen sich alle Körper gegenseitig an, mit ihr werden folglich auch wir von der Erde ununterbrochen in Richtung zu deren Masseschwerpunkt angezogen. Er befindet sich etwa im Mittelpunkt der Erdkugel. Die Schwerkraft ist sehr viel stärker als die Zentrifugalkraft, die aus der Umdrehung der Erde resultiert. Wir spüren sie. Sie bewirkt, daß wir – ebenso wie alle anderen Lebewesen und wie alle Gegenstände auf der Erde – ein Gewicht haben, das heißt mit einer bestimmten Kraft auf den Erdboden oder eine andere Unterlage drücken. (Mit Magnetismus hat die Schwerkraft nichts zu tun.)

Warum bewegt sich die Erde um die Sonne?

Eine Zentrifugalkraft entsteht nicht nur durch die Umdrehung der Erde um ihre Achse, sondern auch bei ihrem Umlauf um die Sonne. Jeder Körper ist nämlich bestrebt, sich mit derselben Geschwindigkeit und in der gleichen Richtung geradeaus weiterzubewegen, in die er einmal gebracht wurde. Wenn die Erde aber von einem beliebigen Punkt ihrer Bahn um die Sonne aus genau geradeaus weiterflöge, müßte sie sich allmählich immer weiter von der Sonne entfernen. Das kann die Erde jedoch nicht, weil sie gleichzeitig auch durch die Schwerkraft der Sonne angezogen wird. Aus dem Zusammenspiel beider



Die Anziehungskraft der Sonne wirkt auf die Erde in Richtung der gestrichelten Linie A. Die Zentrifugalkraft wirkt in Richtung der Linie B. Aus dem Zusammenspiel beider Kräfte ergibt sich die Bahn der Erde um die Sonne

Kräfte entsteht als „Kompromiß“ eine kreisförmige oder elliptische Bahn um die Sonne. Auch die anderen Planeten bewegen sich dadurch um die Sonne.

Außer der Erde gibt es noch die Planeten Merkur, Venus, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun und Pluto. Sie sind hier in der Reihenfolge ihrer Entfernungen von der Sonne aufgezählt. Die Erde ist dabei an dritter Stelle einzureihen. Je weiter ein Planet von der Sonne entfernt ist, um so länger braucht er für einen vollen Umlauf. So bewegt sich der uns bisher bekannte sonnenfernste Planet, Pluto, erst in 248 Jahren einmal um die Sonne, der sonnen nächste, Merkur, dagegen schon in 88 Tagen.

Die meisten Planeten haben Monde. Diese bewegen sich ebenfalls auf kreisähnlichen Bahnen um ihren Planeten. Die Sonne, die Planeten und deren Monde bezeichnet man zusammenfassend als Sonnensystem oder häufig auch als Planetensystem. Beide Ausdrücke besagen dasselbe.

Die Entfernungen im Sonnensystem sind für irdische Verhältnisse unvorstellbar groß. Die Erde ist von der Sonne rund 150 Millionen Kilometer entfernt. Ein Flugzeug, das mit einer Geschwindigkeit von 1000 Kilometern je Stunde fliegt, braucht – ohne Start und Landung und ohne Umwege gerechnet – für die etwa 700 Kilometer lange Strecke Berlin–Moskau nur 42 Minuten. Ein Flug zur Sonne dauerte bei dieser Geschwindigkeit jedoch 17 Jahre und 41 Tage. Es ist aber nicht möglich, mit dem Flugzeug in den Weltraum zu fliegen. Der Planet Pluto ist durchschnittlich rund 40mal weiter als die Erde, nämlich 5946 Millionen Kilometer, von der Sonne entfernt. Für diese Strecke benötigte unser Flugzeug 678,3 Jahre. Selbst eine Rakete, die angenommen 12 Kilometer in der Sekunde – das entspricht 43 200 Kilometern in der Stunde – zurücklegt, erreichte den Pluto erst in 15,7 Jahren.

Wollte man die Entfernungen innerhalb unseres Sonnensystems in der Maßeinheit Kilometer ausdrücken, brauchte man hierfür viel zu große Zahlen. Deshalb benutzt man meist die Entfernung Sonne–Erde von 150 Millionen Kilometern als Maßeinheit. Sie wird Astronomische Einheit (Kurzzeichen: AE) genannt.

Um uns eine Vorstellung von den Größenverhältnissen im Sonnensystem zu verschaffen, wollen wir in Gedanken ein maßstäbliches Modell davon bauen. Die Sonne hat einen Durchmesser von 1 392 000 Kilometern, die Erde einen von nur 12 756 Kilometern. Würden wir die Sonne und alle Planeten sowie ihre gegenseitigen Abstände im gleichen Maßstab von 1 : 1 Milliarde verkleinern, dann wäre die Sonne eine Kugel von 1,39 Meter Durchmesser und die Erde eine Murmel von 13 Millimeter Durchmesser, die in 150 Meter Abstand die Sonne umkreist. Unser Mond stellte ein Kügelchen von knapp 3,5 Millimeter Durchmesser dar, das die Murmel Erde in etwa 40 Zentimeter Abstand umrundet. Der nächstferne Planet Mars wäre 7 Millimeter groß und würde in

228 Meter Abstand die Sonne umlaufen. Der größte Planet unseres Sonnensystems, der Jupiter, entspräche einem 14,4 Zentimeter großen Ball im Sonnenabstand von 778 Metern. Der fernste, Pluto, müßte durch ein Krümchen von 5 Millimeter Durchmesser in 5946 Meter Entfernung von der Sonne dargestellt werden.

Außer den genannten großen Planeten gehören zu unserem Sonnensystem sehr viele kleine Planeten, Planetoiden oder Asteroiden genannt. Ihre Durchmesser betragen einen bis einige hundert Kilometer. Diese Planetoiden müßten in unserem Modell als Stäubchen dargestellt werden, von denen die meisten nur unter dem Mikroskop zu erkennen wären. Man schätzt, daß es etwa 50 000 bis 100 000 Planetoiden gibt. Nur etwa 4000 sind bisher entdeckt. Die meisten wird man nie auffinden, weil sie zu klein sind, um über die großen Entfernungen sichtbar zu sein. Ferner gehören zum Sonnensystem die schon beschriebenen Meteorite und Kometen. Allerdings weiß man nicht genau, ob es auch einige Kometen gibt, die nicht aus unserem Sonnensystem stammen, sondern Besucher aus noch fernerer Weiten des Weltalls sind. Denn an den Grenzen unseres Sonnensystems ist das Weltall nicht zu Ende.

Was ist ein Milchstraßensystem?

Trotz seines riesigen Ausmaßes bildet unser Sonnensystem einen nur winzigen Bestandteil eines noch viel größeren Systems, das aus etwa 100 Milliarden Sternen besteht, die der Sonne vergleichbar sind. Man nennt es die Galaxis oder das Milchstraßensystem. Dieser Name rührt daher, daß wir die meisten Sterne der Galaxis gar nicht als einzelne Lichtpünktchen sehen. Vielmehr fließt ihr Licht zu einem breiten „milchigen“ Lichtband zusammen, das sich weit über den Himmel erstreckt. Das besonders in mondlosen Herbstnächten prächtig schimmernde Band nannten schon die alten Griechen Milchstraße. Durch ein Fernrohr erkennt man aber, daß es nicht aus einer nebelartigen, zusammenhängenden leuchtenden Masse, sondern aus lauter einzelnen Sternen besteht. Auch die am übrigen Himmel mit bloßem Auge einzeln sichtbaren Sterne gehören zum Milchstraßensystem. Der Anblick des schimmernden Bandes entsteht dadurch, daß in der Richtung, in der wir es sehen, sich besonders viele Sterne der Galaxis befinden.

In der Galaxis sind die Sterne nämlich nicht gleichmäßig verteilt. Die meisten sind in einem Raum angeordnet, dessen Begrenzungen etwa die Form einer Diskusscheibe haben, welche in der Mitte verdickt ist. In dieser Mitte, dem Kern der Galaxis, stehen die Sterne besonders „dicht“ beieinander. Das Lichtband am Himmel entspricht aber nicht diesem Kern, sondern Teilen der ihn umgebenden großen Scheibe. Wenn wir auf das Lichtband schauen, blik-

ken wir in die Ebene der Scheibe hinein. Daher sind in dieser Blickrichtung besonders viele Sterne hintereinander gestaffelt. Das Kerngebiet der Galaxis können wir nicht sehen, weil Wolken staubförmiger Materie uns die Sicht verdecken. In der galaktischen Scheibe stehen die Sterne weniger „dicht“ als im Kern. „Oberhalb“ und „unterhalb“ der Scheibe befinden sich weitere Ansammlungen von Sternen. Sie bilden den sogenannten galaktischen Halo. Er enthält wesentlich weniger Sterne als die Scheibe.

Das Wort „dicht“ wurde in Anführungsstriche gesetzt, weil wir es nicht in dem Sinne wie auf der Erde verstehen dürfen. Um die Größenverhältnisse und Entfernungen in der Galaxis ausdrücken zu können, kommen wir selbst mit der riesigen Astronomischen Einheit von 150 Millionen Kilometern nicht mehr aus. Wir müssen eine noch größere Maßeinheit benutzen, das Lichtjahr (Kurzzeichen: Lj). Es ist die Strecke, die das Licht bei seiner Ausbreitung im Verlaufe eines Jahres zurücklegt. Da die Lichtgeschwindigkeit im luftleeren Raum (Vakuum) rund 300 000 Kilometer je Sekunde beträgt, entspricht ein Lichtjahr 9 460 500 000 000 (9,46 Billionen) Kilometern oder 63 240 Astronomischen Einheiten.

Der Abstand zwischen Sonne und Erde beträgt in dieser Maßeinheit ausge-



Aus den Weiten des Weltalls würde unser Milchstraßensystem „von der Seite gesehen“ so ähnlich aussehen

drückt nur 0,0000158 Lichtjahre oder 8,3 Licht^{minuten}. Der durchschnittliche Abstand zweier Sterne in der galaktischen Scheibe beträgt 6 bis 7 Lichtjahre. Der unserer Sonne am nächsten benachbarte Stern Alpha Centauri ist 4,3 Lichtjahre entfernt. In unserem maßstäblichen Modell des Sonnensystems, in dem die Sonne nur 1,39 Meter Durchmesser und der fernste Planet Pluto 5946 Meter Abstand von ihr hätte, würde sich der nächste Stern, Alpha Centauri, erst in 40 680 Kilometer Entfernung befinden. Die galaktische Scheibe insgesamt hat einen Durchmesser von rund 100 000 Lichtjahren. Ihre größte Dicke im Kerngebiet beträgt etwa 15 000 Lichtjahre. Unsere Sonne befindet sich in der Scheibe etwa 33 000 Lichtjahre vom Zentrum der Galaxis entfernt.

Auch in dem gigantischen Milchstraßensystem stehen die Sterne nicht still, sondern bewegen sich um das Zentrum. Unsere Sonne mitsamt ihren Planeten, deren Monden und allen Kleinkörpern des Sonnensystems umläuft das Milchstraßenzentrum mit einer Geschwindigkeit von 250 Kilometern je Sekunde. Wir durchheilen in der Galaxis also in knapp sieben Tagen eine Strecke, die so groß wie die Entfernung Sonne–Erde ist. Trotz dieser hohen Geschwindigkeit braucht unser Sonnensystem für einen vollen Umlauf um das Zentrum der Galaxis 250 Millionen Jahre.

Die einzeln sichtbaren Sterne des Milchstraßensystems werden auch Fixsterne genannt. Das bedeutet soviel wie feststehende Sterne. Die Bezeichnung ist freilich nicht ganz richtig, weil sich ja auch diese Sterne bewegen. Da sie aber so weit von uns entfernt sind, ist ihre Bewegung von der Erde aus gesehen fast nicht mehr zu bemerken. Von einer Nacht zur anderen können wir an ihnen keine Ortsveränderungen am Himmel feststellen. Erst wenn zwei Aufnahmen des Himmels verglichen werden, die im Abstand von vielen Jahren oder Jahrzehnten fotografiert werden, zeigt sich, daß die Fixsterne ihre Orte am Himmel ein wenig verändert haben. Anders verhält es sich mit den Planeten unsers Sonnensystems. Sie sind uns sehr viel näher, und deshalb ist ihre Bewegung weit deutlicher bemerkbar. Schon von einer Nacht zur nächsten verändern sie ihre Orte am Himmel ein wenig. Das Wort *Planet* bedeutet soviel wie *Wandelstern*. Die Planeten wandern vor dem Hintergrund der scheinbar feststehenden Fixsterne hin und her.

Es gibt nicht nur das eine, „unser“ Milchstraßensystem. In dem bisher bekannten Teil des Weltalls befinden sich etwa 10 Milliarden Galaxien. Sie sind in einem Raum von ungefähr 10 Milliarden Lichtjahren Radius (Halbmesser) verteilt. Nehmen wir an, daß im Durchschnitt jede Galaxis etwa ebenso viele Sterne enthält wie unsere, dann ergibt das – ohne Planeten, Monde und Planetoiden gerechnet – insgesamt 1 000 000 000 000 000 000 000 Sterne. Würde man jedem Stern einen Namen oder eine Nummer geben und diese hintereinander drucken, so brauchte man dafür mehr Bücher, als in der gesamten Geschichte der Menschheit bisher gedruckt wurden.

Auch die Galaxien bewegen sich durch das Weltall. Allerdings ist ihre Bewegung nicht als einfacher Umlauf um ein gemeinsames Zentrum zu beschreiben. Im gesamten Weltall gibt es keinen einzigen unbewegten Körper, und wenn wir von einem Gegenstand auf der Erde sagen, er bewege sich nicht, dann meinen wir damit nur, daß er in bezug zur Erdoberfläche unbewegt ist.

Die weiten Räume zwischen der Sonne und ihren Planeten, zwischen den Sternen unserer Galaxis und auch zwischen den verschiedenen Milchstraßensystemen des Weltalls sind nicht völlig leer. Es befinden sich darin Gas- und Staubteilchen in örtlich sehr verschiedenen Dichten.

Gibt es Menschen in fernen Welten?

Viele der Milliarden und aber Milliarden Sterne des Weltalls haben sicher auch Planeten, auf denen sich Pflanzen, Tiere und dem Menschen vergleichbare denkende Wesen entwickeln konnten, wenn auch vielleicht mit einem ganz anderen Körperbau. Aber leider werden wir sie nie besuchen können oder von ihnen Besuch erhalten. Dafür sind die Entfernungen zu groß. Damit sich Leben auf einem Himmelskörper entwickeln kann, muß eine ganze Reihe besonders günstiger Bedingungen zusammentreffen. Auf den anderen Planeten unseres Sonnensystems gibt es zumindest kein höher entwickeltes Leben. Auch bei unserem nächsten Nachbarstern, Alpha Centauri, sind keine lebenstragenden Planeten zu erwarten. Eher schon könnte zu dem 12,2 Lichtjahre entfernten Stern Tau Ceti ein solcher Planet gehören, obwohl auch dies nicht sehr wahrscheinlich ist.

Doch selbst wenn es so wäre und es unseren Nachfahren gelänge, Raketen zu bauen, die mit einer Geschwindigkeit von 1000 Kilometern je Sekunde fliegen, würde der Flug zu einem Planeten dieser Sonne 3657 Jahre dauern. Noch weiter entfernte Objekte wären erst recht unerreichbar. In utopischen Romanen werden zwar manchmal sogenannte Photonenraketen beschrieben, die mit nahezu Lichtgeschwindigkeit (300 000 Kilometer in der Sekunde) fliegen. Aber es ist physikalisch zu beweisen, daß derart schnellfliegende Raketen aus naturgesetzlichen Gründen nicht möglich sind.

So bleibt uns nur übrig zu versuchen, durch Laserlicht- oder Radiosignale Verbindung zu Bewohnern ferner Welten aufzunehmen. Noch reichen die funktechnischen und anderen Einrichtungen zur Überbrückung außerordentlich großer Entfernungen nicht aus. Wir könnten solche Signale auch nur mit scharf bündelnden Antennen aussenden oder empfangen, die nicht rundum in das Weltall strahlen beziehungsweise „horchen“, sondern nur in eine eng umgrenzte Richtung. Und dann hätten wir noch das große Problem zu lösen, in welche der Millionen möglichen Richtungen wir es versuchen sollten.

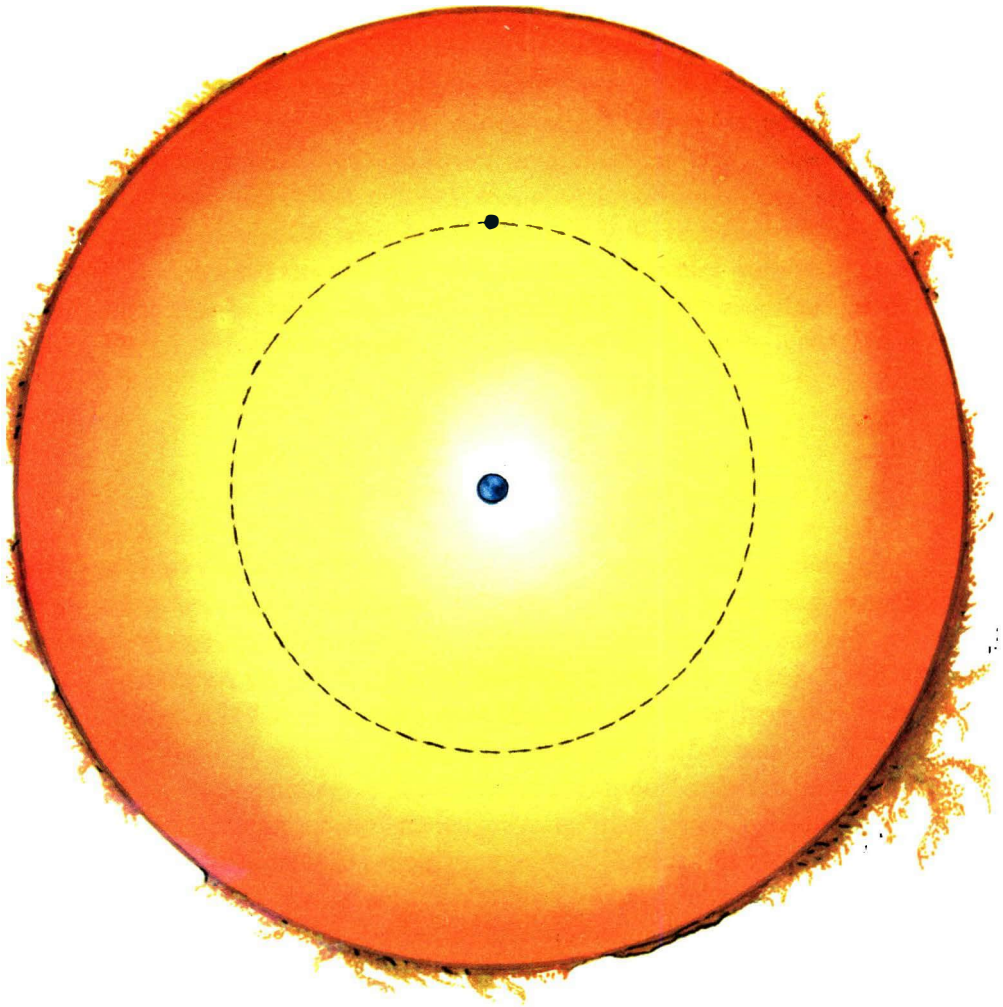
Viel Aussicht, uns irgendwelchen anderen denkenden Wesen im Weltall bemerkbar zu machen oder von ihnen etwas zu erfahren, besteht daher nicht. Versucht worden ist es bei einigen verhältnismäßig nahen Sternen trotzdem, freilich bisher ohne Erfolg. Außerdem würde ein solcher Austausch von Informationen Jahrtausende und mehr dauern. Denn sowohl Licht- als auch Radiowellen sind bis zum Erreichen eines anderen Sterns so viele Jahre unterwegs, wie die Entfernung Lichtjahre beträgt. Wenden wir uns nach diesem Gedankenausflug in die fernsten Weiten des Weltalls wieder unserem „nahen“ großen Stern zu, dem wir die Lebensmöglichkeit auf der Erde verdanken: der Sonne!

Woraus besteht die Sonne?

Verglichen mit der Erde und den anderen Planeten, ist die Sonne ein Himmelskörper mit ganz erstaunlichen Eigenschaften. Das beginnt schon bei ihrer Größe. Wenn wir uns die Erde in den Mittelpunkt der Sonne versetzt denken, würde der Mond mit seinem durchschnittlichen Erdbstand von 384 000 Kilometern immer noch weit innerhalb der Sonnenkugel seine Bahn ziehen. Denn der Durchmesser der Sonne beträgt 1 392 000 Kilometer, ihr Radius folglich 696 000 Kilometer. Im Volumen (Rauminhalt) der Sonne könnten 1 300 000 Erdkugeln untergebracht werden. Verglichen mit anderen Sternen unseres Milchstraßensystems, ist die Sonne dennoch ein Stern nur durchschnittlicher Größe. Es gibt Sonnen, die viel größer sind. So hat zum Beispiel der Stern V Cancri einen 400mal größeren Durchmesser. In seinem Inneren fände unsere Sonne samt ihren Planeten Merkur, Venus, Erde und Mars auf ihren weiten Umlaufbahnen Platz.

Verschiedene Teile der Sonne drehen sich in unterschiedlichen Zeiten einmal um die Polachse. Das ist möglich, weil die Sonne kein fester, starrer Körper ist, sondern aus glühenden Gasen besteht. Die um den Sonnenäquator gelegenen Gebiete vollführen in rund 27 Tagen eine Umdrehung, die weiter zu den Polen hin gelegenen brauchen dafür eine etwas längere Zeit. Bedenken wir, daß die Sonne viel größer als die Erde ist, so bedeuten diese 27 Tage eine sehr schnelle Umdrehung. Am Sonnenäquator bewegt sich jeder Punkt mit einer Geschwindigkeit von 1872 Metern je Sekunde, am Äquator der Erde mit nur 464 Metern je Sekunde.

Im Mittelpunkt der Sonne ist es 15 bis 20 Millionen Grad Celsius heiß. An der „Oberfläche“ beträgt die Temperatur etwa 5500 Grad Celsius. (In der Physik werden Temperaturen aber in einer anderen, der Kelvin-Skale ausgedrückt, die nicht von 0 Grad Celsius nach oben und unten rechnet, sondern bei der tiefstmöglichen Temperatur von minus 273,15 Grad Celsius beginnt. Nach



So groß ist die Sonne! Könnte man das System Erde–Mond in das Innere der Sonne versetzen, so würde der rund 400 000 Kilometer entfernte Mond noch innerhalb der Sonne umlaufen. Riesige „Flammen“, größer als die Erde, Protuberanzen genannt, schießen aus dem Sonnenrand hervor

dieser Skala beträgt die Temperatur an der Sonnenoberfläche also 5800 Kelvin.)

Eine scharf begrenzte Oberfläche wie die Erde hat die Sonne nicht. Die oberflächliche Schicht heißt Photosphäre. Das bedeutet Licht aussendende Schicht. Wir müssen uns die Photosphäre der Sonne als ein tobendes Brodeln gigantischer „Blasen“ glühender Gase vorstellen. Aus den noch sehr viel heißeren tieferen Regionen des Sonnenballs steigen in schneller Folge immer neue Blasen glühender Gase nach oben auf. Durch ein astronomisches Fernrohr betrachtet, sieht die Photosphäre der Sonne daher nicht glatt, sondern granuliert (gekört) aus.

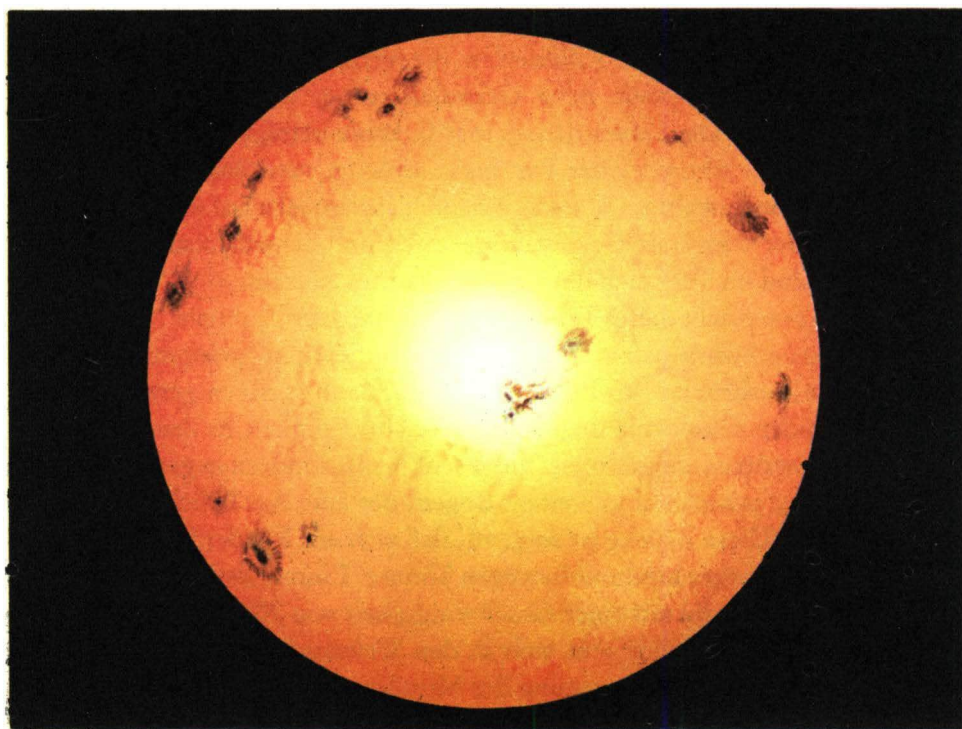
Jedes „Körnchen“ (Granule) ist eine riesige glühende Gasblase mit einem Durchmesser von etwa 1000 Kilometern. Sie reicht aus, um Mitteleuropa zu bedecken. Laufend brodeln neue Granulen empor und lösen einander in schneller Folge ab. Die Lebensdauer einer Granule beträgt nur wenige Minuten. Dann ist sie schon wieder von einer anderen verdrängt. Das läßt uns ahnen, welch ein gewaltiges Toben glühender Gasmassen auf der Sonne herrschen muß. Der schwerste Orkan auf der Erde und die stürmischsten Wellen der Ozeane sind im Vergleich dazu nur ein sanftes Säuseln.

Trotzdem entspricht dieses Toben der Elemente dem „ruhigen“ Normalzustand der Sonne. Wenn in dem gigantischen „Sonnenofen“ gelegentlich außergewöhnliche Ausbrüche von Energie erfolgen, dann spritzen gewaltige Fontänen glühenden Gases mit ungeheurer Geschwindigkeit in den Weltraum. Diese Protuberanzen steigen meist nicht senkrecht, sondern in geneigter Bahn auf. Sie stürzen manchmal in weitem Bogen, der eine Art Brücke bildet, zur Sonne zurück. Diese Brücke ist so groß, daß sich ein Körper von der Größe der Erdkugel darunter hindurchbewegen könnte. Einmal hat man eine Protuberanz beobachtet, die mit einer Geschwindigkeit von 700 Kilometern in der Sekunde 2 Millionen Kilometer weit in den Weltraum hinausschoß. Das ist rund 5mal weiter als die Entfernung des Mondes von der Erde.

Solche Gasausbrüche sind mit Spezialfernrohren besonders gut zu beobachten, wenn sie von der Erde aus gesehen am Rande der Sonne stattfinden, weil sie sich dann gut gegen den dunklen Weltraum abheben. Zahlreiche derartige Naturschauspiele sind in Filmen festgehalten. Große Gasmassen werden freilich auch an anderen Stellen der Sonnenoberfläche ausgestoßen. Man nennt sie dann nicht Protuberanzen, sondern Filamente. Sie sind, weil die gleißend helle Photosphäre den Hintergrund bildet, nur durch spezielle Techniken sichtbar zu machen.

Eine andere Erscheinung der Photosphäre sind die Sonnenflecken. Sie haben eine etwa 1200 Kelvin geringere Temperatur als ihre Umgebung und senden deshalb eine etwas weniger starke Lichtstrahlung aus. Die Häufigkeit der Flecken wechselt in einem Rhythmus von durchschnittlich 11 Jahren. Alle 11 Jahre erreicht die Anzahl der Flecken einen Höhepunkt, das Sonnenfleckenmaximum. Dann nimmt sie wieder ab und sinkt etwa in der Mitte dieses Zeitraums auf den geringsten Wert, das Sonnenfleckenminimum, in dem es besonders wenige oder über längere Zeit gar keine Flecken gibt. Viele Flecken halten sich sehr lange und sind daher nach einer Umdrehung der Sonnenkugel erneut zu sehen.

Mit geeigneten Instrumenten lassen sich noch andere Erscheinungen auf der Sonne feststellen: starke Ausbrüche von unsichtbarem ultravioletem Licht, von Röntgenstrahlen und Radiowellen. Die Sonne sendet solche Wellenstrahlen ständig aus. Während der Ausbrüche nimmt deren Stärke jedoch um



Die Sonne mit Flecken

ein Vielfaches zu. Auch winzige Teilchen, Bestandteile von Atomen, schleudert die Sonne ins All. Einige erwähnten wir schon als Sonnenwind.

Alle über das normale Geschehen auf der „ruhigen“ Sonne hinausgehenden Vorgänge werden zusammenfassend als Sonnenaktivität (Sonnentätigkeit) bezeichnet. Sie ruft je nach Art und Stärke verschiedene Auswirkungen in der Atmosphäre der Erde hervor. Dazu gehören die prächtigen Polarlichter. Das sind grünliche, bläulichweiße oder rote Leuchterscheinungen. Man nennt sie in der nördlichen Polarregion Nordlichter, in der südlichen Südlichter. Sie treten dort in Höhen der Atmosphäre zwischen etwa 80 und 300 Kilometern auf, wenn von der Sonne mit riesigen Geschwindigkeiten ausgeschleuderte Teilchen in großer Anzahl einfallen. Bis in die mittleren geografischen Breiten kommen Polarlichter selten vor, so daß wir in unserer Heimat kaum Gelegenheit haben, sie zu beobachten.

Stark abhängig von der Sonnenaktivität ist die Ausbreitung der Radiokurzwellen. In diesem Wellenbereich kann man Sendungen über größte Entfernungen hören, in Europa zum Beispiel aus Vietnam, Indien, Australien, Afrika, Nord- und Südamerika und, umgekehrt, in allen diesen Ländern auch

Nordlicht



Sendungen von europäischen Stationen. Davon wird in der Nachrichtenübermittlung Gebrauch gemacht. Die weite Ausbreitung dieser Wellen beruht darauf, daß Schichten der Erdatmosphäre in Höhen zwischen etwa 80 und 400 Kilometern Kurzwellen ungefähr so zur Erde reflektieren, wie ein Spiegel Licht zurückwirft. Durch die Auswirkungen stärkerer Sonnenaktivität auf die Hochatmosphäre verliert sie jedoch diese Eigenschaft, so daß es zum Ausfall von Funkverbindungen kommt. Ferner hat man zahlreiche Einflüsse der Sonnenaktivität auf Pflanzen, Tiere und Menschen beobachtet; noch weiß man allerdings nicht, wie sie im einzelnen verursacht werden.

Den weitaus größten Teil aller Energien, welche die Sonne in das Weltall strahlt, sendet sie in Form des sichtbaren Lichts, der unsichtbaren ultraviolett und der ebenfalls unsichtbaren infraroten Wärmestrahlen aus. Die Energiemenge ist unvorstellbar groß. Bestünde die Sonne vollständig aus Steinkohle, so reichte dieser Brennstoff nur 2000 bis 3000 Jahre für ihre gigantische Strahlung. Da die Sonne aber schon seit mindestens 5 Milliarden Jahren in ungefähr gleicher Stärke strahlt, kann ihre Energieerzeugung nicht auf der Verbrennung irgendeines Stoffes beruhen.

Lange zerbrachen sich die Wissenschaftler den Kopf darüber, auf welche Weise die Sonne ihre Energie gewinnt. Erst in unserem Jahrhundert wurde die Lösung gefunden.

Im Zentrum der Sonne herrschen Bedingungen, bei denen sich das Gas Wasserstoff in ein anderes Gas, Helium genannt, umwandeln kann. Bildlich spricht man deshalb von einer „Verbrennung“ des Wasserstoffs zu Helium. In Wirklichkeit ist das jedoch keine Verbrennung in dem Sinne, wie Kohle, Holz oder das Gas im Herd verbrannt werden. Vielmehr ähnelt die Art der Energieerzeugung derjenigen im Kernkraftwerk. Sie ist dadurch gekennzeichnet, daß schon durch Umwandlung sehr kleiner Stoffmengen riesige Energiemengen freigesetzt werden. Bei den Vorgängen, die in der Sonne stattfinden, ist die Ausbeute an Energie sogar noch größer als bei denen im Kernkraftwerk. Deshalb sind Wissenschaftler bemüht, auf eine im Prinzip gleiche Weise wie in der Sonne Energie auch in irdischen Kraftwerken zu erzeugen. Doch ist es außerordentlich schwierig, die Bedingungen dafür technisch nachzuahmen. Deshalb ist man bisher über Vorarbeiten nicht hinausgekommen.

Auch bei der Energieerzeugung der Sonne wird Stoff verbraucht, in jeder Sekunde 4,3 Millionen Tonnen. Trotzdem ergibt das in 10 Milliarden Jahren erst einen Verlust von weniger als einem Tausendstel der Stoffmasse der Sonne. Das läßt uns noch einmal ihre gigantische Größe ahnen. Der Wasserstoffvorrat der Sonne reicht noch für viele weitere Milliarden Jahre. Häufig wird gefragt, wann die Sonne einmal erkalte. Der nächste Schritt in ihrer Entwicklung besteht, wie man inzwischen weiß, noch nicht in einer langsamen Abkühlung. Es beginnt, wenn die Sonne nicht mehr genug Wasserstoff hat,

eine andere Form der Energieerzeugung. Dabei wird sich die Sonne riesig aufblähen.

Obwohl ihre Oberfläche dann kühler als heute ist, erhält die Erde infolge des stark verringerten Abstands so viel Wärme, daß es auf unserem Planeten sengend heiß wird. Doch kann auch dies erst nach vielen Jahrmilliarden geschehen, und erst in noch späteren Phasen der Entwicklung der Sonne, die weitere Jahrmilliarden in der Zukunft liegen, wird sie wirklich erkalten.

Wenn die Sonne aus glühend heißen Gasen besteht, warum dehnen sich diese dann nicht schon heute immer weiter aus und entweichen in den Weltraum? Die gleiche Schwerkraft, die alle Körper an der Erdoberfläche festhält und in Richtung Masseschwerpunkt der Erdkugel anzieht, hält auch die Gaspartikelchen der Sonne zu einer riesigen Kugel zusammen. Nur wenn einzelne Teile des Gases bei ihren turbulenten Bewegungen ausnahmsweise einmal äußerst große Geschwindigkeiten erreichen, reißen sie sich los und strömen ins Weltall hinaus.

Da die Sonne eine sehr viel größere Masse als die Erde hat, ist auch ihre Anziehungskraft weit größer. Man kann die Stärke dieser Kraft daran messen, um wieviel die Geschwindigkeit eines frei fallenden Körpers zunimmt. Wenn wir auf der Erde aus dem Fenster einen Stein auf die Straße fallen lassen, so erreicht er nach einer Sekunde die Geschwindigkeit von 9,81 Metern je Sekunde. Das entspricht 35,3 Kilometern je Stunde. Ein in der Nähe der Sonne fallender Körper würde nach einer Sekunde bereits eine Geschwindigkeit von 273,98 Metern je Sekunde beziehungsweise 986 Kilometern je Stunde erreichen. Er wäre also nach bereits einer Sekunde etwa so schnell wie ein ganz modernes Verkehrsflugzeug! Man kann die sehr viel stärkere Anziehungskraft der Sonne auch daran ermessen, daß ein Körper, der auf der Erde 50 Kilogramm wiegt, an der Oberfläche der Sonne rund 28mal mehr, also etwa 1400 Kilogramm wäge. Ein Sportler, der auf der Erde 2,20 Meter hoch springt, käme mit gleichem Kraftaufwand auf der Sonne nur knapp 8 Zentimeter hoch.

Diese gigantische Schwerkraft der Sonne ist es auch, die unsere Erde und alle Planeten auf bestimmte Bahnen zwingt, die in etwas wechselnden Abständen rund um die Sonne führen. Sie hält wie mit einem unsichtbaren „Faden“ die Planeten in ihrem Bann.

Inhalt

VON ERDBEBEN UND VULKANEN

- Was ist ein Erdbeben? 3
- Gab es die heutigen Gebirge schon immer? 4
- Wie sieht es im Innern der Erde aus? 8
- Warum stürzen bei Erdbeben Häuser ein? 13
- Kann man Erdbeben vorhersagen? 15
- Was ist ein Seebeben? 17
- Was geschieht bei einem Vulkanausbruch? 19

KOMMT EINE NEUE EISZEIT?

- Wie sah es bei uns zur Eiszeit aus? 25
- Wie entsteht eine Kaltzeit? 29
- Ändert sich unser Klima? 33
- Warum sind Nord- und Südpol immer von Eis bedeckt? 34
- Was sind Eisberge? 39

PLANETEN – SONNEN – FERNE WELTEN

- Warum ist der Mond nicht immer rund? 44
- Was sind Sternschnuppen? 46
- Was sind Kometen? 49
- Warum merken wir nicht, daß sich die Erde dreht? 50
- Warum bewegt sich die Erde um die Sonne? 51
- Was ist ein Milchstraßensystem? 53
- Gibt es Menschen in fernen Welten? 56
- Woraus besteht die Sonne? 57



3. Auflage 1981

© DER KINDERBUCHVERLAG BERLIN – DDR 1979

Lizenz-Nr. 304-270/323/81-(75)

Gesamtherstellung:

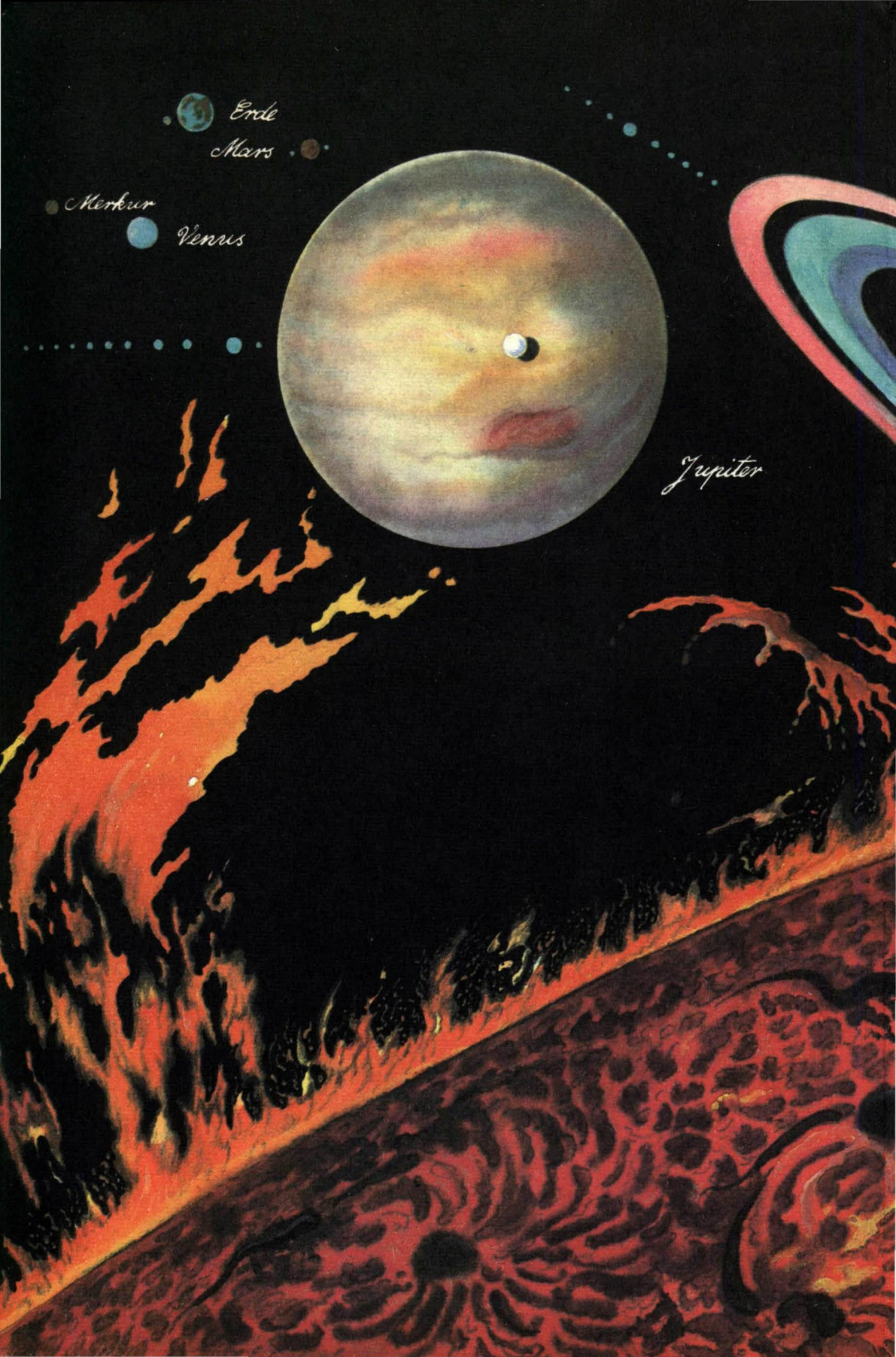
Grafischer Großbetrieb Sachsensdruck Plauen

LSV 7841

Für Leser von 10 Jahren an

Bestell-Nr. 630 589 7

DDR 6,20 M



Erde

Mars

Merkur

Venus

Jupiter



Saturn

Uranus

Pluto

Neptune



Wodurch entstehen Erdbeben und Vulkanausbrüche? Was ist ein Seebeben? Wie kommen die alles vernichtenden Tsunami-Wellen zustande? Welche Verhältnisse herrschten bei uns zur Eiszeit, und haben unsere Nachfahren vielleicht eine neue Vereisung zu erwarten? Woraus besteht die Sonne, und was sind Sternschnuppen und Kometen? Wie groß ist das Milchstraßensystem? Wieviel Planeten gibt es, und wie weit sind sie entfernt? Gibt es menschenähnliche Lebewesen auf anderen Himmelskörpern? Solche und viele andere interessante Fragen finden in diesem Buch ausführliche Antwort.

