

Verständliche Wissenschaft

Die Erde als Planet

Zweihundvierzigster Band

Von

Karl Stumpff

EXTRA
MATERIALS
extras.springer.com



Springer

Verständliche Wissenschaft

Zweiundvierzigster Band
Die Erde als Planet

Von
Karl Stumpff



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH · 1939

Die Erde als Planet

Von

Dr. Karl Stumpff

a. o. Professor an der Universität Berlin
Observator am Meteorologischen Institut
der Universität Berlin

1. bis 5. Tausend

Mit 50 Abbildungen



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH · 1939

Additional material to this book can be downloaded from <http://extras.springer.com>.

ISBN 978-3-642-89079-6 ISBN 978-3-642-90935-1 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-642-90935-1

**Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung
in fremde Sprachen, vorbehalten.**

Copyright 1939 by Springer-Verlag Berlin Heidelberg
Ursprünglich erschienen bei Julius Springer in Berlin 1939
Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1939

Inhaltsverzeichnis.

I. Die Erde im Weltbild des Menschen	1
II. Die Erde ist eine Kugel	19
III. Die Erde dreht sich	36
IV. Orientierung auf der Erdoberfläche	55
V. Die Erde wandert um die Sonne	68
VI. Erde und Mond — ein Doppelgestirn	80
VII. Lebensspenderin Sonne	94
VIII. Erdpole und Erdmagnetismus	116
IX. Der Körperbau des Planeten Erde	126
X. Erde, Weltall und Leben	135
Sachverzeichnis	156

I. Die Erde im Weltbild des Menschen.

Der Leser soll in diesem Buch mit derjenigen Gruppe von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen bekannt gemacht werden, die zur unmittelbaren Voraussetzung die Vorstellung von der Erde als einem Himmelskörper haben. Der Bereich dieser Erkenntnisse betrifft also nicht nur die Erde selbst, sondern auch alle Beziehungen, die zwischen der Erde und dem System von Himmelskörpern bestehen, in dem sie ein einzelnes Glied darstellt. Er umfaßt demnach nicht nur große Teile der *Geophysik* (der Physik des Erdkörpers) — nämlich alle die Teile dieser Wissenschaft, die sich mit den Eigenschaften der Erde als einem Ganzen befassen —, sondern greift auch weit hinüber in das Gebiet der *Astronomie*. Wir befinden uns damit auf jenem breiten Grenzstreifen, der die Astronomie, die erhabenste, aber auch entrückteste aller Wissenschaften, von den übrigen menschlichen Forschungsbereichen trennt, aber auch mächtig verbindet.

Es waren gewichtige Gründe, die dazu drängten, ein derartiges Grenzgebiet — und gerade dies besondere — zum Gegenstand einer gemeinverständlichen Schrift zu machen. Wir leben in einer Zeit, in der die Grenzen zwischen den Wissenschaften sich nach einer Periode der Isolierung wieder zu verwischen beginnen. Damit wird ein natürlicher und gesunder Zustand wiederhergestellt, der verlorengegangen, als der Umfang der Wissenschaften gewaltig anschwellte und damit der Anreiz und die Notwendigkeit zur Ausbildung eines Spezialistentums unter den Wissenschaftlern gegeben war. Zwar brauchen wir auch heute, und zwar in steigendem Maße, Spezialisten auf allen Gebieten. Wir haben aber längst die Gefahr erkannt, die mit dieser an sich notwendigen Entwicklung verbunden ist. Da es heute nicht mehr möglich ist, von einem Forscher, oder gar von jedem, umfassende Kenntnisse auf

allen Gebieten zu verlangen, die irgendwie mit seinem Fachgebiet in Berührung kommen, so muß dies wenigstens für diesen Grenzstreifen geschehen, an dem sich zwei Welten berühren und über den hinweg die Dinge und ihre Beziehungen über- und ineinandergreifen. Das gilt ganz besonders für die außerordentlich vielseitigen und tiefgreifenden Beziehungen zwischen Astronomie und Geophysik. Der Geophysiker kommt bei seinen Forschungen auf Schritt und Tritt in die Lage, sich astronomischer Erkenntnisse bedienen zu müssen. Für den Astronomen ist zwar die Erde innerhalb seines gewaltigen Forschungsbereichs nur ein winziges Glied, für viele Betrachtungen nur ein bewegter und durch eine bestimmte Masse gekennzeichneter Punkt im Raume. Aber trotzdem bleibt sie auch für ihn die feste Basis, von der aus er seine Beobachtungen, Berechnungen und Ermittlungen in den unendlichen Raum vortreibt, und deren Eigenschaften er daher gründlich kennen muß. Außerdem hat der Astronom noch ein besonderes Interesse daran, daß die mannigfachen Verknüpfungen seiner Wissenschaft mit der Geophysik und anderen erdverbundenen Wissenschaften weithin sichtbar gemacht werden. Die astronomische Wissenschaft leidet nämlich unter dem weitverbreiteten Vorurteil, daß sie zu sehr abseits vom Strome des praktischen Lebens liege, um mehr zu bedeuten als ein zwar schönes und erhabenes, aber im Grunde doch unnützes und entbehrliches Grenzgebiet der Forschung. So erscheint die Beschäftigung mit der Himmelskunde — trotz des gewaltigen Anreizes, den ihr erhabener Gegenstand immer auf das menschliche Denken ausüben wird — selbst vielen ihrer Freunde, um wieviel mehr also dem Heer der ihr gleichgültig Gegenüberstehenden, als ein kultureller Luxus, der in Zeiten friedlicher und gesicherter Kulturentfaltung seine Berechtigung hat, aber in Notzeiten zugunsten anderer für das Leben eines Volkes nützlicherer Bestrebungen zurückstehen muß.

Wenn wir die Annalen der menschlichen Kulturgeschichte zurückblättern, dann finden wir immer wieder Zeugnisse darüber, wie groß und manchmal entscheidend die Wirkungen gewesen sind, die von astronomischen Entdeckungen

ausgingen. Von den ältesten Zeiten her bis tief in das neunzehnte Jahrhundert hinein hat immer wieder die Astronomie durch die Erfassung weltweiter Zusammenhänge den Horizont des Denkens und der Anschauung ausgedehnt, hat andere Wissenschaften mit den aus ihren Erkenntnissen abgeleiteten Gesetzen befruchtet und gefördert, hat Fragen gestellt, auf die ein nur in irdischen Bereichen forschender Gelehrter kaum gekommen wäre, und hat durch die Forderung der Beantwortung dieser Fragen zur Ausbildung wissenschaftlicher Hilfsmittel Anlaß gegeben, die sich dann auch auf anderen Gebieten als brauchbare Werkzeuge schöpferischen Denkens erwiesen haben. Wir werden in den Kapiteln dieses Buches viele Beispiele dafür kennenlernen, hier brauche ich nur wenige kurz zu nennen: Das Weltsystem des Kopernikus, der vor 400 Jahren lehrte, daß die Erde sich um die Sonne bewegt, hat in seiner weiteren Durchbildung durch Kepler, Galilei und Newton nicht nur zur mechanischen Erklärung der himmlischen Bewegungen selbst geführt, sondern eben durch den Anreiz der Fragestellung, zu deren Beantwortung große, bis dahin nicht vorhandene Hilfsmittel nötig waren, die Begründung einer neuen Mathematik und einer neuen Mechanik begünstigt, zweier Wissenschaften, ohne die unser heutiges technisches Zeitalter nicht denkbar wäre. Ein zweites Beispiel: Die astronomische Forschung bedarf Messungen am Himmel von außerordentlich hoher Genauigkeit. Die Genauigkeitsansprüche wurden immer größer und wuchsen besonders an, nachdem das *Fernrohr* erfunden war und man die Ausmaße der in ihm liegenden Möglichkeiten erkannt hatte. Durch ihre Problemstellung hat die Astronomie der Meßtechnik und ganz besonders der optischen Industrie große Aufgaben gegeben, deren Lösung nicht nur der Astronomie selbst, sondern zahlreichen anderen Belangen des menschlichen Lebens zugute gekommen sind.

Nachdem die hauptsächlichsten Probleme der Planetenbewegung gelöst waren und 1837 durch F. W. Bessel die erste Fixsternparallaxe (s. S. 17) gemessen und damit der letzte noch ausstehende Beweis für die Erdbewegung um die Sonne erbracht war, verschob sich der Schwerpunkt der astro-

nomischen Forschung auf andere Gebiete — die Erforschung der Struktur des Fixsternsystems und die der physikalischen Beschaffenheit der Gestirne. Es fällt nicht schwer, zu zeigen, wie groß auch dann noch die anregende und richtungweisende Kraft der astronomischen Probleme war. So führte die Entdeckung der dunklen Linien im Sonnenspektrum durch Wollaston (1802) und Fraunhofer (1814) nicht nur zur Kenntnis des Aufbaus der Gestirne und zu weiteren wichtigen Entdeckungen über ihre Bewegung (aus der „Dopplerschen Verschiebung“ der Spektrallinien der Sterne kann man ihre Bewegung in der Gesichtslinie in km/sec ableiten), sondern gab der Physik und der Chemie ein neues Werkzeug zur Erforschung des Aufbaus der Materie, mit dem gewaltige Aufgaben gelöst werden konnten. Auch heute noch dauert dieser Prozeß der gegenseitigen Befruchtung zwischen der außenseitigen Astronomie und den anderen Wissenschaften an. Immer wird die Himmelskunde ungelöste Probleme bieten, darin unterscheidet sie sich von anderen Wissenschaften nicht. Was aber an ihren Problemen eigenartig ist und sie uns unersetzlich macht, das sind die ungeheuren Ausmaße, die in ihnen die Dinge annehmen. In keinem Laboratorium der Erde hat ein Forscher so große Massen, so hohe und so niedrige Drucke, so hohe und so niedrige Temperaturen zur Verfügung wie der Astronom oder Astrophysiker im stern erfüllten Weltall. Nirgends wie dort gibt es so unermeßliche Ausdehnungen in Raum und Zeit, so große Geschwindigkeiten, Kräfte und Energieumwandlungen. Der moderne Physiker ist daher genau wie sein vor 200 Jahren lebender Vorgänger darauf angewiesen, auf die Forschungsergebnisse der Astronomen zurückzugreifen. Dabei ist es keineswegs gesagt, daß die „Nützlichkeit“ astronomischer Erkenntnisse immer sogleich in die Augen fällt. Auch wird der Astronom seine Forschungen niemals unmittelbar unter dem Gesichtspunkt betreiben, anderen Wissenschaftlern verwendbares Material zusammenzutragen. Seine große und schöne Aufgabe ist es, das Gesamtbild der Welt zu erkennen und dem geistigen Auge der Menschheit sichtbar zu machen — darüber hinaus kann er sicher sein, daß keiner der Bausteine, die er zusam-

menträgt. unwichtig ist. auch wenn seine Bedeutung für das Ganze erst später erkannt wird.

Wir ersehen aus diesen Gedankengängen, daß die Astronomie im Zusammenspiel aller Erfahrungswissenschaften zu allen Zeiten, also auch in der Gegenwart, eine wichtige Aufgabe zu erfüllen hat, und daß es daher unrichtig wäre, sie als eine zwar schöne, aber unfruchtbare und daher entbehrliche Blüte am Baume der Erkenntnis anzusehen. Astronomische Forschung ist nicht *allein* Selbstzweck. Sie ist vielmehr dazu berufen, allen anderen Wissenschaften den Boden zu bereiten, auf dem sie gedeihen, und das Dach zu zimmern, unter dem sie leben können.

Wenn wir die Beziehungen der Astronomie zum gesamten Geistesleben der Völker in der Geschichte verfolgen, so können wir deutlich erkennen, daß jede Erweiterung des astronomischen Weltbildes eine mehr oder weniger auf allen Gebieten des menschlichen Lebens sichtbar werdende Umwandlung und Aufwärtsentwicklung zur Folge hatte. Den Völkern der Frühantike war noch die Erde eine flache Scheibe, die vom Horizonte begrenzt und von einer halbkugelförmigen Glocke, dem Himmel, überwölbt war. Das Weltmeer, das die Ränder der Erdscheibe umflutete, setzte ihrem Lebensraum eine unüberwindliche Schranke. Sonne, Mond und Sterne wurden göttlichen Wesen gleichgesetzt, oder sie wurden als Öffnungen der die irdische Welt abschließenden Himmelskugel angesehen, durch die das Licht einer überirdischen göttlichen Welt hindurchflutete.

Die erste fundamentale Erweiterung dieses primitiven Weltbildes fällt noch in die Zeit der Antike: die Erkenntnis nämlich, daß die Erde kugelförmige Gestalt besitzt. Die Erdkugel schwebt frei in der Mitte der Welt, um sie herum dreht sich eine gewaltige Hohlkugel, das „*primum mobile*“, auf dem die Fixsterne angeheftet sind. Die Sonne, der Mond und die fünf großen Planeten (Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn) bewegen sich auf ihr oder auf besonderen Sphären zwischen Himmel und Erde nach eigenen Gesetzmäßigkeiten. Die Erkenntnis der Kugelgestalt der Erde gibt den Anreiz zur *Erforschung der Erdoberfläche*, von deren Größe schon die

alten Griechen eine nahezu richtige Vorstellung besaßen. Aber das Vertrauen auf die Zuverlässigkeit wissenschaftlicher Erkenntnisse war zu jener Zeit noch gering. Wenn auch die kugelförmige Erde in den Theorien der alten Astronomen mit der Zeit eine wachsende Rolle spielt, so bleibt sie doch zunächst ein abstrakter Begriff, mit dem die einfacher denkenden Zeitgenossen wenig anfangen konnten. Viele Schwierigkeiten waren dem Verständnis im Wege — vor allem war es wohl die naturgegebene Vorstellung vom „Oben und Unten“, die den Gedanken einer Reise um die Erde als absurd erscheinen ließ. Diese Bedenken haben in der Tat noch anderthalb Jahrtausende bestanden, bis Kolumbus (1492 n. Chr.) den Versuch unternahm, Indien auf einer Seefahrt nach Westen zu erreichen, und dabei Amerika entdeckte. Diese Entdeckungsreise, die ein neues Zeitalter der Menschheitsgeschichte einleitete, wurde nicht zuletzt deshalb so bedeutungsvoll, weil sie bewußt im Vertrauen auf die Richtigkeit des damals herrschenden Weltbildes unternommen wurde. Wir wissen, daß Amerika schon mehrere Jahrhunderte früher von dem nordischen Volk der Wikinger aufgefunden wurde. Diese Entdeckung blieb aber ohne Folgen und wurde vergessen, weil sie lediglich das zufällige Ergebnis ungestümen Tatendrangs war, ein Ergebnis, dem noch die weltanschauliche Basis und damit die Möglichkeit seiner Einordnung in eine gesicherte Vorstellungswelt fehlte.

Die Wirkungen, die von der erfahrungsmäßigen Bestätigung der Kugelgestalt der Erde ausgingen, waren ungeheuer. Das Weltbild der Antike, dem das ganze Mittelalter nur wenig hinzufügen konnte, rückte aus der Verborgenheit der Studierstuben in das Licht eines allgemeineren Interesses. Die Gelehrten selbst, die in diesem Weltbild bis dahin mehr ein gedankliches Hilfsmittel zur Beschreibung der Naturvorgänge als eine tatsächlich vorhandene mechanische Konstruktion sahen, wurden nun dazu angeregt, auch die übrigen Bestandteile der überlieferten Vorstellungen vom Aufbau der Welt auf ihren Wirklichkeitswert zu untersuchen.

Hier lag nun folgender Tatbestand vor: Als die äußerste Abgrenzung des Weltgebäudes galt die Fixsternsphäre, die

mit einer Umdrehungszeit von rund einem Tage gleichmäßig um eine feste Achse, die Weltachse, rotiert, und in deren Mittelpunkt die Erdkugel ruht. Diese Vorstellung ist noch verhältnismäßig einfach, wenn auch bei genauerer Betrachtung schwerverständliche Folgerungen auftreten. Schwierigere Fragen knüpfen sich schon an die Bewegungen von Sonne und Mond. Die Sonne ist mit der Fixsternsphäre nicht fest verbunden — sie nimmt

zwar an ihrer Bewegung teil, aber wandert langsam zwischen den Sternen hindurch — in der Zeit eines Jahres einmal um die ganze Sternenkugel herum. Sie führt also eine Kreisbewegung aus, die aber mit der Bewegung der Fixsternkugel in bestimmter Weise gekoppelt ist. Die Alten stellten diesen etwas komplizierten Vorgang sehr geschickt durch Ineinanderschachtelung mehrerer Kreisbewegungen dar, etwa so (Eudoxos), daß eine zweite Sphäre, an der die Sonne befestigt ist, innerhalb der Fixsternsphäre um eine Achse rotiert, die aber nun nicht mit

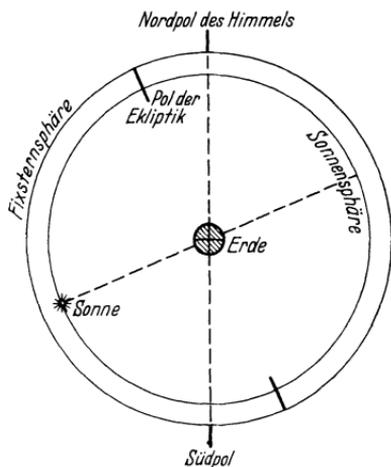


Abb. 1. Erklärung der Sonnenbewegung nach Eudoxos. Um die im Mittelpunkt der Welt ruhende Erde dreht sich die Fixsternsphäre um die Weltachse. Die Sonne ist an einer zweiten (inneren) Sphäre (Kugelschale) angeheftet, die an den „Polen der Ekliptik“ mit der Fixsternsphäre verbunden ist und sich um diese in einem Jahre dreht.

der Erde, sondern mit der Fixsternsphäre fest verbunden ist und somit an ihrer Rotation teilnimmt (Abb. 1). Oder (Epizykeltheorie des Ptolemäus) man stellte sich einen Hebelarm vor, der wie die Speiche eines Rades um die Erde kreiste, an seinem freien Ende aber einen zweiten Hebelarm trug, der nun seinerseits die Sonne (oder den Planeten) in einer weiteren Kreisbewegung (dem Epizykel) herumführte (Abb. 2). Aber schon bei der Sonne reichten diese beiden sich überlagernden Kreisbewegungen nicht aus, wenn man die Annahme einer *gleichförmigen*, d. h. stets mit gleicher Drehungs-

geschwindigkeit vor sich gehenden Bewegung nicht fallen lassen wollte. Denn die Sonnenbewegung auf ihrer jährlichen Bahn ist ungleichmäßig schnell — sie ist im Sommer langsamer als im Winter. Man lernte aber auch diese Schwierig-



Abb. 2a. Schleifenförmige Bahn eines Planeten (Merkur) im Sommer 1934 durch das Sternbild der Zwillinge.

keit überwinden, indem man den Drehpunkt des gesamten, die Sonne führenden Mechanismus in einen Punkt außerhalb der Erde verlegte. Beim Monde und ganz besonders bei den Planeten werden die zu erklärenden Bewegungen noch komplizierter. Die alten Astronomen schritten auf dem einmal begangenen Wege fort und erklärten jede neu auftretende periodische Ungleichmäßigkeit in der Bewegung der Gestirne dadurch, daß sie dem System eine neue Sphäre oder einen neuen Epizykel anhängten. Dies Verfahren führte im Endergebnis zu einem Weltsystem von verwirrend un-

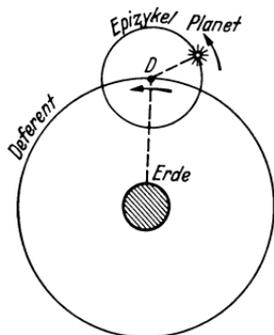


Abb. 2b. Erklärung dieser Schleifenbewegung durch die Epizykeltheorie des Ptolemäus. Der Planet bewegt sich auf einer Kreisbahn (Epizykel) um einen Punkt D , dieser wieder auf einer Kreisbahn (Deferent) um die Erde.

ständlichem Aufbau, in dem ein inneres Gesetz kaum gefunden werden konnte. So unbefriedigend aber dies Weltsystem auch war, so überraschend gut ließen sich mit seiner Hilfe die beobachteten Bewegungen der Gestirne darstellen und sogar auf lange

Zeit voraussagen. Die Wissenschaft sah in diesem praktischen Erfolg nicht mit Unrecht eine Bestätigung ihrer Theorie — sie konnte damals noch nicht wissen, daß zwar ihre *Berechnung* der himmlischen Bewegungen stimmte, die mechanische

Deutung des Vorganges aber auch auf anderem, und zwar einfacherem und natürlicherem Wege möglich war.

Diesen Weg fand Nikolaus Kopernikus. Er erklärte zunächst die tägliche Drehung der Himmelskugel durch eine ebenso schnelle Drehung der Erdkugel im entgegengesetzten Sinne. Damit wurde die Fixsternsphäre in Ruhe versetzt, was mehrere Vorteile hatte: der Durchmesser der Fixsternsphäre, über dessen nutmaßliche Größe die Astronomen keine bestimmten Angaben machen konnten, mußte ungeheuer groß sein, damit die ganze Welt im Innern dieser Kugel Platz hatte — das aber würde bedeuten, daß die Umdrehung dieser Kugel in $2\frac{1}{4}$ Stunden mit einer ganz unvorstellbar großen Geschwindigkeit vor sich gehen müßte. Diese Schwierigkeit entfiel, wenn man die Fixsternsphäre ruhen ließ und dafür eine Drehung der im Vergleich zu ihr fast verschwindend kleinen Erde annahm. Ein zweiter, noch bedeutsamerer Vorteil der neuen Theorie lag darin, daß nunmehr die Annahme einer Kopplung zwischen den Bewegungen der Gestirne und der Umdrehung der Fixsternsphäre nicht mehr erforderlich war, da die letztere ja fortfiel. Alle Gestirnsbewegungen gingen also nunmehr frei im Innern der ruhenden Fixsternschale um die rotierende Erde herum vor sich, was den gesamten himmlischen Mechanismus wesentlich vereinfachte.

Aber Kopernikus ging noch einen Schritt weiter. Er las in den Schriften der Alten von einer merkwürdigen Ansicht, die der im dritten Jahrhundert v. Chr. lebende Aristarch von Samos ausgesprochen hatte, allerdings ohne damit durchzudringen: Nach ihm sollte nicht die Erde im Mittelpunkt der Welt stehen, sondern die *Sonne*. Um sie herum sollte die Erde in einem Jahre kreisen. Kopernikus griff diesen Gedanken auf und fand, daß sich alle Himmelsbewegungen darstellen ließen, wenn man annahm, daß Erde und Planeten gemeinsam auf Kreisen von verschiedenem Durchmesser um die ruhende Sonne liefen — nur die Bewegung des Mondes erfolgte um die Erde. Allerdings mußte auch Kopernikus noch exzentrische Bewegungen annehmen und konnte auch auf das Hilfsmittel der Epizykeln zur Erklärung einiger Ungleichförmigkeiten der Bewegungen nicht ganz verzichten.

Immerhin aber wurde jetzt die gesamte Maschinerie des Himmels außerordentlich viel einfacher und durchsichtiger, ohne daß die Genauigkeit, mit der die Wanderung der Gestirne am Himmel dargestellt und vorausberechnet werden konnte, geringer war.

Die *Planetennatur der Erde*, die von dem seiner Zeit weit vauseilenden Geiste des Aristarch vorgeahnt wurde, wurde somit durch Kopernikus erneut in das Blickfeld der Wissenschaft geworfen, zu einer Zeit, die nun bereit war, einen so revolutionären Gedanken aufzunehmen und zu verarbeiten. Es hat dann allerdings noch lange gedauert, bis dieser Gedanke sich durchsetzte. Die Widerstände gegen ihn kamen teils vom kirchlichen Dogmatismus her (sowohl von katholischer wie auch von protestantischer Seite), teils aus der Wissenschaft selbst. Was die letztere anbelangt, so waren die von ihr ins Feld geführten Gegengründe nicht immer auf das starre Festhalten an überlieferten Lehren zurückzuführen, sondern stammten teilweise aus den Ergebnissen einer sorgfältigen und berechtigten wissenschaftlichen Kritik. In diesem Zusammenhang müssen wir kurz auf die Gründe eingehen, die einen der bedeutendsten Astronomen des 16. Jahrhunderts, den Dänen Tycho de Brahe, zur Ablehnung des Kopernikanischen Weltsystems führten. Tycho, den wir als den Begründer der modernen astronomischen Beobachtungskunst bezeichnen müssen, errichtete auf der Insel Hveen im Sund die größte und beste Sternwarte seiner Zeit und beobachtete dort in zwanzigjähriger mühevoller Arbeit die Örter der Fixsterne, der Sonne, des Mondes und der Planeten mit einer Genauigkeit, die vor der (erst einige Jahre nach seinem Tode erfolgten) Erfindung des Fernrohrs kaum noch übertroffen werden konnte. Tycho, der drei Jahre nach des Kopernikus Tode geboren wurde, kannte natürlich dessen neue Theorie und setzte sich mit der ihm eigenen wissenschaftlichen Gründlichkeit mit ihr auseinander. Sein Haupteinwand gegen sie war aber der folgende: Wenn die Erde ein Planet ist, also sich auf einer Bahn von ungeheurem Ausmaß um den von der Sonne eingenommenen Mittelpunkt der Welt bewegt, so muß diese Bewegung notwendig eine Veränderung

im Anblick der an die Himmelskugel angehefteten Fixsterne zur Folge haben. Im Laufe ihrer jährlichen Bewegung um die Sonne wird ja die Erde irgendeiner Stelle der Himmelskugel bald näher rücken, bald weiter von ihr entfernt sein. Die Richtung, in der wir die Sterne sehen, muß daher notwendig einer Änderung unterworfen sein. Die Sterne, denen sich die Erde auf ihrer Bahn nähert, müssen aus perspektivischen Gründen auseinanderstreben, die, von denen sie sich entfernt, aber zusammenrücken (Abb. 3). Tycho suchte nun, diese perspektivische Verschiebung der Fixsterne durch seine Beobachtungen nachzuweisen. Ihm, dem genauesten Beobachter seiner Zeit, gelang dieser Nachweis nicht — die Sterne standen unverrückbar fest, daher, so schloß er, müßte auch die Erde, der Standpunkt des Beobachters, feststehen.

Tycho de Brahe, dem die übrigen Vorteile des Kopernikanischen Weltbildes einleuchteten, gelangte

so zu einer Kompromißlösung: Die rotierende Erde steht im Mittelpunkt der festen Fixsternsphäre. Um sie kreist der Mond auf einer engen, die Sonne auf einer weiten Bahn. Die Planeten aber kreisen nicht um die Erde, sondern um die Sonne als Zentrum.

Dies „Tychonische Weltsystem“ hat keine lange Lebensdauer gehabt. Tychos genialer Schüler Johannes Kepler, der eine außergewöhnliche mathematische Begabung hatte, war von der Richtigkeit der Kopernikanischen Lehre tief überzeugt. Es gelang ihm schon bald nach Tychos Tode,

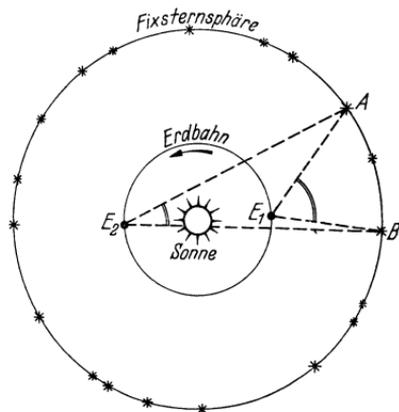


Abb. 3. Einwand des Tycho de Brahe gegen die Kopernikanische Lehre: Wenn sich die Erde um die im Mittelpunkt der Welt ruhende Sonne bewegen würde, so müßte, von zwei verschiedenen Punkten der Erdbahn aus betrachtet, der Winkelabstand zweier Sterne (*A* und *B*) verschieden sein. Von E_1 aus gesehen, scheinen die beiden Sterne weiter auseinanderzuliegen als von E_2 aus.

das hervorragende Beobachtungsmaterial, das ihm dieser schon zu seinen Lebzeiten zur Bearbeitung übertragen hatte, nach neuen Gesichtspunkten erfolgreich auszuwerten. Kepler ließ zum erstenmal die aus der Antike übernommene und auch von Kopernikus und Tycho noch benutzte Anschauung fallen, daß alle Himmelsbewegungen auf *gleichförmige Kreisbewegungen* zurückgeführt werden müßten. Zu einer derartigen Annahme lag in der Tat kein zwingender Grund vor, die Alten rechtfertigten sie lediglich mit ihrer Ehrfurcht vor einem überirdischen Geschehen, dessen Ablauf sie sich nicht anders vorstellen mochten als in erhabener Einfachheit und vollendeter Harmonie. Kepler verzichtete also auf diese Vorstellung und stellte sich nunmehr die Aufgabe: In was für Bahnen bewegen sich die Planeten um die Sonne gemäß der heliozentrischen Grundvorstellung des Kopernikus, und wie geschieht der zeitliche Ablauf der Geschwindigkeiten der Planeten in diesen Bahnen? Diese rein geometrische Fragestellung führte Kepler zu dem Ergebnis, daß die Planeten sich in *Ellipsen* um die Sonne bewegen, die in einem der beiden Brennpunkte steht, und daß die Geschwindigkeit in dieser Bahn durch ein einfaches Gesetz geregelt wird. (Die Verbindungslinie Sonne–Planet überstreicht in gleichen Zeiten gleich große Flächen; die Bahngeschwindigkeit ist also um so größer, je näher der Planet auf seiner Bahn der Sonne kommt.)

Gleichzeitig mit der Entdeckung der Keplerschen Gesetze der Planetenbewegung erfolgt (1610) die Erfindung des *Fernrohrs*, mit dem der italienische Forscher Galilei bald eine Reihe von aufsehenerregenden astronomischen Beobachtungen macht. Er sieht, daß der Mond von Gebirgen bedeckt ist und sich damit als ein Weltkörper von erdähnlicher Beschaffenheit erweist. Er entdeckt die Kugelgestalt der Planeten und beobachtet, daß der Planet Jupiter von vier großen Monden begleitet wird (Abb. 4), die ihn ständig umkreisen, er entdeckt die Sonnenflecken und leitet aus deren Bewegung die Drehung der Sonne um ihre Achse ab.

Alle diese neuen Erkenntnisse zeigen unmittelbar und eindringlich, daß die Himmelskörper Kugelgestalt haben, sich um ihre Achsen drehen und daß kleinere Körper kreisartige

Bahnen um größere zu beschreiben in stande sind. Der Gedanke, daß die Erde gemeinsam mit den Planeten um die Sonne kreist, verliert nun viel von seiner Unwahrscheinlichkeit und Unvorstellbarkeit, da der Augenschein eindringlich lehrt, daß Planeten und Monde der Erde ähnlich gestaltet und gebaut sind. Die Erde hat vor ihnen nichts Besonderes mehr voraus, sie ist ein Himmelskörper wie sie, eine sich drehende Kugel, die von einem Monde umkreist wird, ein einzelnes Glied einer ganzen Planetenfamilie, die um die Sonne wandert.

Der Einwand des Tycho de Brahe gegen die Bewegung der Erde verlor angesichts so schwerwiegender Gründe, die für sie sprachen, an Gewicht und wurde zunächst — ohne indes vergessen zu werden — beiseite geschoben. Dennoch gingen die Kämpfe um die Anerkennung des heliozentrischen Systems noch durch das ganze 17. Jahrhundert weiter. Das Buch, in dem Kopernikus seine Lehre beschrieb, wurde sogar erst 1758, also mehr als 200 Jahre nach dem Tode seines Verfassers, aus dem „Index der verbotenen Bücher“ der Katholischen Kirche gestrichen.

Die weitere Entwicklung des durch Kopernikus und Kepler begründeten Weltbildes vollzieht sich nun auf zwei verschiedenen Wegen. Der erste Weg nimmt seinen Ausgang von der durch Galilei geschaffenen neuen *Mechanik*. Durch Experimente und messende Beobachtung erforscht Galilei die Gesetze des freien Falls und der Pendelbewegung. Seine wichtigste und folgenreichste Entdeckung aber ist die der Trägheit der Masse, die folgendermaßen formuliert wird: Ein Körper, der sich geradlinig und mit gleichbleibender Ge-

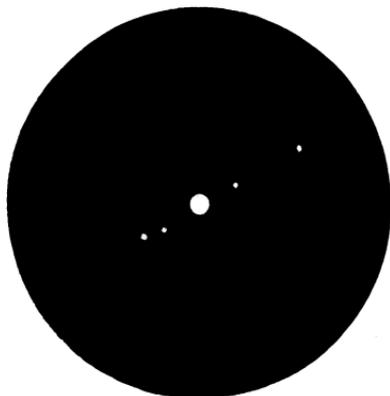


Abb. 4. Jupiter in einem kleinen Fernrohr.

Die vier Monde stehen in einer Reihe. Jupiter hat noch weitere fünf Monde, sie sind aber nur in großen Fernrohren zu sehen.

schwindigkeit bewegt, verharrt in diesem Bewegungszustand so lange, bis eine von außen einwirkende Kraft ihn ändert.

Die Anregungen Galileis fallen auf fruchtbaren Boden. Nicht nur die Physiker, sondern auch die Mathematiker nehmen sich der hier auftauchenden Fragen an, deren wachsende Schwierigkeit sie nicht abschreckt, sondern zu immer größeren Anstrengungen und zur Schaffung neuer und gewaltiger Hilfsmittel anspornt. Um die Wende des 18. Jahrhunderts erfinden Leibniz und Newton die „Infinitesimalrechnung“, durch die es möglich wird, mechanisch-physikalische Probleme mathematisch anzugreifen und mit einer bis dahin nicht gekannten Vollständigkeit zu lösen. Einem von ihnen, dem Engländer Isaac

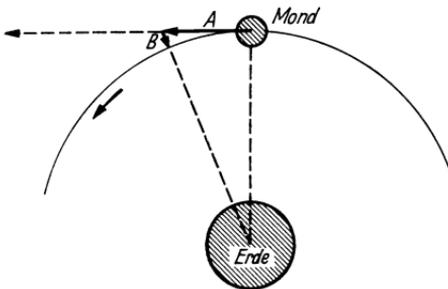


Abb. 5. Die kreisartige Mondbewegung um die Erde kommt zustande durch das Zusammenwirken von Trägheit und Anziehungskraft (Schwerkraft). In dem im Bilde festgehaltenen Augenblick bewegt sich der Mond in der durch den Pfeil A gekennzeichneten Richtung. Er würde in der gleichen Richtung infolge des Trägheitsgesetzes weiterfliegen, wenn er nicht gleichzeitig infolge der Schwerkraft (Pfeil B) auf die Erde fallen würde.

Newton, der zu den größten Forschern aller Zeiten zählt, gelingt es schließlich, durch die Entdeckung des *Gravitationsgesetzes* den Schlüsselstein in das heliozentrische Weltgebäude einzubauen: er findet,

daß die Kraft, durch die Planeten und Monde an ihre Zentralkörper gebunden sind, die gleiche ist, die den Stein zur Erde fallen läßt, die *Schwerkraft*. Der Mond z. B., der sich in seiner Bahn durch den Weltenraum mit einer bestimmten Geschwindigkeit bewegt, würde infolge der von Galilei entdeckten Trägheit der Massen auf einer geradlinigen Bahn enteilen, wenn die von der Erde aus auf ihn wirkende Schwerkraft ihn nicht ständig daran hinderte, sich von ihr zu entfernen (Abb. 5). Newton zeigte, daß sich durch das Zusammenspiel von Trägheit und Anziehungskraft tatsächlich die Bewegungsform der Himmelskörper ergeben muß, die Kepler gefunden und

in seinen Gesetzen festgelegt hatte. Ja, das Gravitationsgesetz leistete noch mehr: es zeigte, daß nicht nur der Mond von der Erde und die Erde nebst den anderen Planeten von der Sonne angezogen werden, sondern daß überhaupt allgemein zwischen zwei beliebigen Körpern Anziehungskräfte wirksam sind, die von ihren Massen abhängig sind, aber bei wachsender Entfernung nach bestimmten Regeln abnehmen. Somit bewegen sich Planeten und Monde nicht *genau* in Keplerschen Bahnen um ihre Zentralkörper, sondern diese Bewegung wird durch die Anziehung der übrigen Himmelskörper gestört. Durch die Berücksichtigung dieser störenden Kräfte gestaltete sich die Berechnung der Planetenbahnen sehr langwierig und schwierig; dafür aber war es nun möglich, alle Himmelsbewegungen so genau darzustellen, daß die Übereinstimmung zwischen Rechnung und Beobachtung auch dann gewahrt blieb, als die astronomischen Fernrohre und Meßinstrumente so weit entwickelt worden waren, daß auch die geringste Abweichung von der Theorie hätte bemerkt werden müssen. Ihren größten Triumph erlebte die Newtonsche Theorie, als der 1781 von Herschel entdeckte neue Planet Uranus im Laufe der Jahre von seiner Bahn in einer Weise abwich, die mit dem Gravitationsgesetz in Widerspruch stand. Der französische Astronom Leverrier nahm zur Erklärung dieser Widersprüche an, daß ein unbekannter Planet der Urheber der Störungen sei und bestimmte sogar den Ort, an dem sich dieser Planet befinden müßte. Tatsächlich wurde 1846 in der Nähe des von Leverrier angegebenen Ortes ein neuer Körper gefunden: der Planet *Neptun*.

Während so die Bewegungserscheinungen im Sonnensystem eine befriedigende mechanische Deutung erfahren, wird auch der letzte Zweifel an der Planetennatur der Erde beseitigt. Ein einziger Einwand aber bleibt bis tief in das 19. Jahrhundert hinein bestehen und macht den Astronomen viel Kopfzerbrechen: Die schon von Tycho de Brahe vermißte perspektivische Verschiebung der Fixsterne infolge der Erdbewegung war immer noch nicht gefunden, obwohl inzwischen die Beobachtungsgenauigkeit des großen Tycho dank des Fernrohrs um das 200fache überboten worden war. Die Be-

seitigung dieser letzten Schwierigkeit liegt auf dem zweiten der oben genannten Entwicklungswege, die von Kopernikus ausgehend zum modernen Weltbild führen.

Eine Säule des von Kopernikus umgewandelten Weltgebäudes der Antike stand noch: das „*primum mobile*“, die Fixsternsphäre. Sie war zwar ihrer Bewegung entkleidet, aber immer noch schloß sie die Welt in der Vorstellung nach außen hin ab und barg in sich und hinter sich eine Fülle ungelöster Rätsel. Ein Zeitgenosse Tycho's und Keplers, der italienische Dominikanermönch Giordano Bruno, fand weniger durch Forschung als auf Grund einer durch dichterische Phantasie beflügelten genialen Einsicht die richtige Lösung: Die Fixsternsphäre ist eine Gedankenkonstruktion, sie existiert nicht wirklich. Also ist auch die Sonne nicht der „Mittelpunkt“ der Welt. So wie die Erde ein Planet unter vielen anderen ist, so ist die Sonne eine Sonne unter vielen. Die anderen Sonnen aber sind die Sterne, mit denen der *unendliche* Raum angefüllt ist, und die nur deshalb so schwaches Licht verbreiten, weil ihre Entfernung von uns so überaus groß ist.

Giordano Bruno ist 1600 in Florenz auf dem Scheiterhaufen verbrannt worden — bei seiner Verurteilung spielten allerdings die revolutionären Ansichten über das Weltgebäude wohl nur eine untergeordnete Rolle. Die neue Auffassung, daß die Fixsterne ferne Sonnen seien, setzte sich etwa in der gleichen Zeit durch wie die heliozentrische Theorie des Sonnensystems. Am Ende des 18. Jahrhunderts macht Friedrich Wilhelm Herschel, der mit seinen großen Spiegelteleskopen den Fixsternhimmel durchforschte, den Versuch, Ausdehnung und Form des Systems der Fixsterne abzuschätzen. Er nimmt dabei mangels anderer Anhaltspunkte zunächst an, daß alle Fixsterne die gleiche Helligkeit wie die Sonne besitzen. Da nun die *scheinbare* Helligkeit einer Lichtquelle mit dem Quadrat der Entfernung abnimmt, so kann er berechnen, wie weit eine Lichtquelle von Sonnenhelligkeit von uns entfernt sein müßte, um uns so hell wie irgendein Fixstern zu erscheinen. Er findet auf Grund dieser Abschätzung zwei wichtige Sätze: 1. Die Fixsterne sind in einem linsenförmigen Raum von un-

geheurer Ausdehnung angeordnet. Unsere Sonne befindet sich ungefähr in der Mitte dieses Raumes, die äußersten Ränder dieser Weltlinse werden durch die aus einer Ansammlung von sehr weit entfernten Sternen bestehende *Milchstraße* gebildet.

2. Die Entfernung der nächsten (also der uns am hellsten erscheinenden) Fixsterne ist bereits so groß, daß ihre perspektivische Verschiebung infolge der Erdbewegung um die Sonne äußerst klein ist und vermutlich an den Grenzen der — inzwischen außerordentlich gesteigerten — Beobachtungsgenauigkeit oder gar noch darunter liegt.

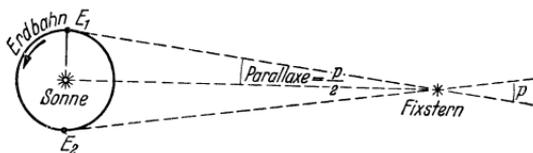


Abb. 6. Fixsternparallaxe. Betrachtet man einen Fixstern von den beiden gegenüberliegenden Punkten E_1 und E_2 der Erdbahn aus, so ist der Winkel p , der Unterschied zwischen den beiden Visierrichtungen, um so kleiner, je weiter der Stern entfernt ist. Die Hälfte dieses Winkels ist gleich dem Gesichtswinkel, unter dem vom Stern aus der Radius der Erdbahn erscheinen würde und wird „Parallaxe“ genannt.

Erst 15 Jahre nach Herschels Tode gelingt es (1837) dem Königsberger Astronomen Friedr. Wilh. Bessel mit einem neuartigen Meßinstrument von großer Schärfe, dem *Heliometer*, die so lange vermißte perspektivische Verschiebung (oder, wie man sie inzwischen bezeichnet, die „*Parallaxe*“) eines Fixsterns einwandfrei zu messen (Abb. 6), nachdem man sich jahrzehntelang eifrig, aber vergeblich, darum bemüht hatte. Die früheren Versuche waren, wie man jetzt weiß, hauptsächlich daran gescheitert, daß man sie an den hellsten Sternen des Himmels anstellte, die aber keineswegs (wie noch Herschel angenommen hatte) auch die nächsten zu sein brauchen. Inzwischen hatte man eine weitere Entdeckung gemacht: die nämlich, daß die Fixsterne nicht fest stehen, sondern sich, wenn auch ihrer großen Entfernung wegen fast unmerklich, im Raume bewegen. Bessel suchte nun auf Grund dieser Erkenntnis die nächsten, also für die Parallaxenbestimmung geeignetsten Sterne nicht so sehr unter

den hellsten, als unter denen mit der größten Eigenbewegung. Unter diesen aber fiel besonders ein schwacher Stern (Nr. 61 im Sternbild des Schwans) auf. An ihm stellte Bessel eine jährliche Schwankung fest, deren Gesamtbetrag nur zwei Drittel einer Bogensekunde ausmachte, das ist ungefähr der 1200. Teil des Winkels, unter dem uns der Durchmesser des Vollmonds erscheint. Aus ihm ließ sich die Entfernung jenes Sterns zu mehr als 100 Billionen km bestimmen — das Licht, das sich von ihm mit der ungeheuren Geschwindigkeit von 300 000 km in der Sekunde ausbreitet, erreicht die Erde erst in etwa 11 Jahren.

Durch die Messung der ersten Fixsternparallaxe wurde nicht nur der letzte noch fehlende Beweis für die Bewegung der Erde um die Sonne nachgeholt, sondern eine neue Ära der astronomischen Forschung erfolgreich eingeleitet: die Eingliederung des Sonnensystems und damit auch der Erde in ein umfassendes Gesamtbild des Kosmos. Diese Ära ist noch lange nicht abgeschlossen, ihre Aufgabe umfaßt nicht nur die Ermittlung der Größe und Form des Sternsystems, der Bewegungserscheinungen in ihm, der Verteilung der Sterne nach Helligkeit und Entfernung, sondern auch das Studium ihrer physikalischen Eigenschaften, z. B. ihrer Temperatur, Masse, Dichte, stofflichen Zusammensetzung und schließlich auch ihrer Entwicklung, d. h. ihres zeitlichen Werdens und Vergehens. Das sind aber alles Dinge, die auch *den* Forscher interessieren, der sich mit der *Erde* beschäftigt, dem Stern, den wir bewohnen. Und wenn wir nach Vergangenheit und Zukunft des Planeten Erde fragen, dann werden wir auch an dem Schicksal wenigstens der uns nächsten Gestirne nicht vorbeigehen können: der Planeten, deren Stellung im Weltganzen im Prinzip die gleiche wie die unserer Erde ist, und der Sonne, die uns und ihnen Licht und Wärme spendet.

Wir haben nun gesehen, wie die Einsicht in die Struktur des Weltgebäudes im Laufe der Geschichte gewachsen ist, und wie ihre Vertiefung immer den Anlaß zu einer besseren Erkenntnis derjenigen Dinge gegeben hat, die unsere Erde betreffen. Dieser umfassende, wenn auch nur in ganz groben Zügen vollständige Überblick war notwendig, wenn wir die

Einzelheiten unseres Wissens von der Erde, die in den folgenden Kapiteln an uns vorüberziehen sollen, in ihren großen Zusammenhängen richtig verstehen wollen.

II. Die Erde ist eine Kugel.

Die Anschauungen der Alten über die Gestalt der Erde waren sehr verschiedenartig. Neben der ältesten und primitivsten Auffassung der Erde als einer flachen Scheibe finden wir Theorien, die ihr Zylinder- oder Walzenform zuschreiben. Der Philosoph Plato hält die Erde für einen Würfel, weil dieser unter den regelmäßigen Körpern am festesten auf seiner Grundlage ruhe. Wann der Gedanke, daß die Erde eine Kugel sei, zum ersten Male ernsthaft erwogen wird, wissen wir nicht genau. Es ist aber bekannt, daß Parmenides, ein Schüler der Pythagoreer, diese Ansicht öffentlich lehrte. Aristoteles (384—322 v. Chr.), der die verschiedenen bis zu seiner Zeit bekannt gewordenen Auffassungen miteinander verglich, entschied sich ebenfalls für die Kugelform und führt zur Begründung nicht nur philosophische Überlegungen, sondern auch verschiedene Erfahrungstatsachen an. So bemerkt er, daß bei Mondfinsternissen der Erdschatten (der also schon damals richtig als Ursache dieser Himmelserscheinungen erkannt wurde) immer kreisrund ist, was nur denkbar ist, wenn man der Erde Kugelgestalt zubilligt. Er verwertet ferner die Erfahrung, daß bei Reisen in nördlicher Richtung der Polarstern sich höher über den Horizont erhebt, oder daß bei Reisen nach Süden am südlichsten Horizonte neue Sternbilder auftauchen.

Diese letztgenannten Erfahrungen bewiesen zwar noch nicht, daß die Erde eine vollkommene Kugel ist, aber sie zeigen wenigstens, daß die Oberfläche der Erde in der Richtung von Norden nach Süden gekrümmt sein muß. Die gleiche Erscheinung würde sich auch ergeben, wenn die Erde eine Walze wäre, deren Achse von Westen nach Osten gerichtet ist. Zur Kugelgestalt gehört aber eine gleichmäßige Krümmung nach

allen Richtungen, insbesondere also nicht nur in der Nord-Süd-, sondern auch in der Ost-West-Richtung. Für eine solche Ost-West-Krümmung finden wir aber bei Aristoteles keine Belege aus Beobachtungen. Tatsächlich ist auch aus Gestirnsbeobachtungen die ost-westliche Krümmung der Erdoberfläche viel schwieriger nachzuweisen als die nord-südliche. Wir beobachten, daß die Sterne infolge der täglichen Drehung der Himmelskugel kreisförmige Bahnen um den Himmelspol ausführen, dessen Lage nahezu durch den Polarstern gekennzeichnet ist. Auf dieser täglichen Bahn erreichen die Sterne

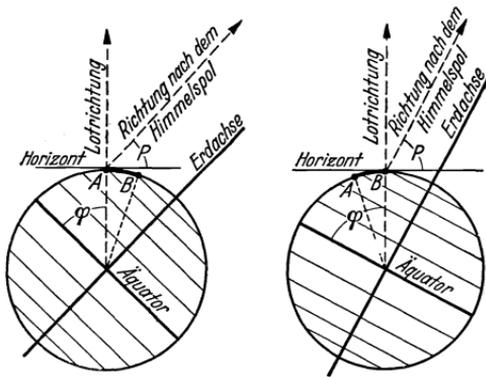


Abb. 7. Wenn man von einem Orte A in nördlicher Richtung nach dem Orte B reist, erhebt sich der Himmelspol höher über den Horizont. Die „Polhöhe“ (P) ist gleich der „geographischen Breite“ (φ).

ihre größte Höhe über dem Horizont, wenn sie durch die Nord-Süd-Linie des Himmels, den sogenannten *Meridian*, hindurchgehen. Die Krümmung der Erdoberfläche in nord-südlicher Richtung bringt es nun mit sich, daß bei Reisen nach Norden oder Süden die Höhe des Himmelspols (Abb. 7) und damit auch die von den einzelnen Sternen im Meridian erreichten größten Höhen (die „Meridianhöhen“ oder „Kulminationshöhen“) sich ändern, ein Vorgang, der durch einfache Winkelmessungen leicht nachprüfbar ist. Anders bei Ost-West-Reisen. Hier ändert sich die Polhöhe nicht, und auch die Kulminationshöhen der Sterne bleiben ungeändert. Wohl aber ändern sich die *Zeiten* des Aufgangs, des Untergangs und der Kulmination, d. h. des Durchgangs durch die Meridianlinie

des Himmels. Wenn man nach Osten reist, erfolgen Aufgang, Kulmination und Untergang früher, wenn man nach Westen reist, später. Daraus folgt, daß zur Feststellung dieser Erscheinung durch Messung eine *Zeitvergleichung* nötig ist. Man muß also zur tatsächlichen Ausführung dieses Experiments *Uhren* besitzen, deren Gang auch bei längeren Reisen zuverlässig bleibt. Wenn wir heutzutage etwa von Europa nach Amerika fahren, so müssen wie unsere Uhren nach und nach um sechs Stunden zurückstellen, damit sie die Tageszeiten richtig anzeigen. Im Altertum aber gab es transportable Uhren von genügender Zuverlässigkeit nicht, mit denen man solche Messungen hätte durchführen können. Sie waren auch zum Beweise der Ost-West-Krümmung nicht unbedingt nötig, denn man hatte ja andere Anzeichen: die schon erwähnte stets kreisförmige Begrenzung des Erdschattens bei Mondfinsternissen, ferner die von den Seefahrern bald gemachte Erfahrung, daß von den am Horizonte des Meeres auftauchenden Schiffen immer zuerst die Mastspitzen sichtbar werden — ganz unabhängig von der Himmelsrichtung, aus der sie kommen¹.

Aus der Zeit des Altertums stammen auch die ersten Versuche, die *Größe* der als kugelförmig erkannten Erde zu bestimmen. Die Größe einer Kugel läßt sich durch eine einzige Zahl (Durchmesser, Radius oder Umfang) ausdrücken, die den Charakter einer Länge besitzt und daher nach Kilometern, Meilen oder irgendeiner anderen Längeneinheit gemessen wird. Derartige Angaben, die aber nur das Ergebnis oberflächlicher Schätzungen sind, finden sich schon bei Aristoteles, Archimedes und anderen Autoren des Altertums. Die erste wirkliche *Messung* des Erdumfangs wird uns von Eratosthenes berichtet, der 276—194 v. Chr. lebte. Er benutzt dabei die oben beschriebene Abhängigkeit der Kulminationshöhe der Gestirne von einer Ortsveränderung in nord-südlicher Richtung, die ihm aus den Schriften des Aristoteles bekannt war. Eratosthenes lebte in Alexandrien. Er erfuhr nun von Reisenden, die aus dem südlich von Alexandrien gelegenen Syene (dem heutigen Assuan in Ägypten) kamen, daß

¹ Vgl. Chant: „Die Wunder des Weltalls“, Abb. 31. (Band 9 dieser Sammlung).

sich dort zur Zeit der Sommersonnenwende (21. Juni) die Sonne des Mittags in einem sehr tiefen Brunnen spiegle. Er schloß daraus, daß die Sonne an diesem Tage mittags im Zenit von Syene stehen müsse. Durch Messung mit einem

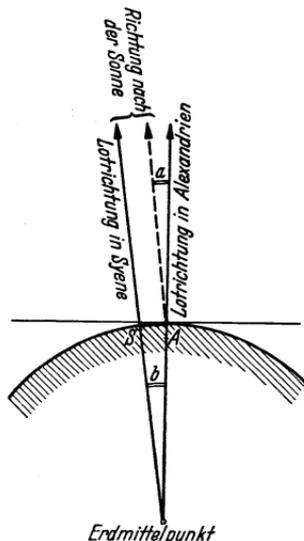


Abb. 8. Eratosthenes bestimmt den Erdumfang: Am 21. Juni steht die Sonne in Syene (S) im Zenit, in Alexandria (A) um den Winkel α südlich vom Zenit. Dieser Winkel, der 50. Teil des Vollkreises, ist gleich dem Winkel b zwischen den Erdradien nach A und S . Der Bogen AS ist daher auch der 50. Teil des Erdumfangs, der damit durch Ausmessung von AS bestimmt werden kann.

Gnomon (einem senkrecht stehenden Stab, aus dessen Schattenlänge man die Höhe der Sonne bestimmen konnte [vgl. S. 42]), stellte er nun fest, daß zur gleichen Zeit die Sonne in Alexandria etwas über 7 Grad südlich vom Zenit kulminierte. Das ist der 50. Teil des Kreisumfangs. Demnach mußte auch die auf der Erdoberfläche gemessene Entfernung zwischen Alexandria und Syene den 50. Teil des Erdumfangs betragen (Abb. 8). Die Weglänge zwischen beiden Orten war dem Eratosthenes aber bekannt — sie betrug nach einer schon damals in Ägypten durchgeführten Landesvermessung rund 5000 Stadien. Für den Erdumfang ergab sich demnach 250 000 Stadien, eine Größe, die wir mit dem uns heute bekannten Wert (40 000 km) nicht genau vergleichen können, da wir nicht mit Sicherheit angeben können, in welchem Verhältnis das Weßmaß der Griechen, das *Stadion*,

zu unserem Meter oder Kilometer stand. Wahrscheinlich darf man aber ohne allzu großen Fehler 1 Stadion = 185 m setzen — die Messung des Eratosthenes führt danach auf einen Erdumfang von 46 250 km, also auf einen um fast 16% zu großen Wert. Immerhin kann man aber sagen, daß die Alten von der Größe der Erdkugel einen annähernd richtigen Begriff hatten.

Merkwürdigerweise finden diese zwar ungenauen, aber doch methodisch vollkommen richtigen Versuche der Erdmessung weder im Altertum noch im Mittelalter viel Nacheiferung, obwohl sie sich auch mit den damaligen Hilfsmitteln leicht mit größerer Genauigkeit hätten wiederholen lassen. Wir vermerken hier nur zwei ähnliche Unternehmen: die Erdmessung des Posidonius (etwa 150 Jahre nach Eratosthenes), die auf einen zu kleinen Wert für den Erdumfang führte, und eine im Jahre 827 n. Chr. in Mesopotamien unter der Regierung des Kalifen Al Mamun ausgeführten Messung, deren Ergebnis wir aber nicht auf seine Richtigkeit nachprüfen können, da uns die benutzte Längeneinheit, die arabische Meile, nicht überliefert ist.

Die Methode, die bei all diesen Versuchen zur Erdmessung benutzt wurde, beruht also auf folgender Überlegung: Der Erdumfang, gegeben durch einen Kreis, der durch beide Erdpole hindurchgeht, also überall nord-südlich verläuft (Längengreis oder Meridian), wird in 360 Grade eingeteilt, die gerade Verbindung zwischen Pol und Äquator also in 90 Grade (geographische Breite). Die geographische Breite eines Beobachtungsortes entspricht der Höhe des Himmelspols über dem Horizont des Ortes. Nun seien zwei Punkte *A* und *B* auf diesem Längengreis gegeben, deren Breitenunterschied (Polhöhenunterschied) genau gleich einem Grad ist. Die längs der Erdoberfläche gemessene Entfernung der beiden Punkte ist dann genau gleich dem 360. Teile des Erdumfangs. Man bezeichnet daher diese Methode der Erdmessung auch als *Gradmessung*. Sie besteht aus zwei einzelnen Messungen verschiedener Art: einer *Winkelmessung* (der Bestimmung des Polhöhenunterschiedes, der, wie wir gesehen haben, auch gleich dem Unterschied der Kulminationshöhen irgendeines Sternes an beiden Orten ist) und einer *Längenmessung*, nämlich der Ausmessung des nord-südlich verlaufenden Weges zwischen beiden Orten.

Beide Messungsarten sind Ungenauigkeiten unterworfen, die das Ergebnis fälschen. So hatte der Fehler der Gradmessung des Eratosthenes, soweit er nicht auf unserer fehlerhaften Kenntnis über die Länge des Stadions beruht, mehrere

Ursachen: 1. Die Bestimmung der Sonnenhöhe in Alexandrien geschah mit einem sehr primitiven Instrument. 2. Die Angabe, daß sich die Sonne in Syene im Zenit befand, beruhte auf unzuverlässigen Angaben, die nicht nachgeprüft wurden. 3. Die Annahme, daß Syene genau südlich von Alexandrien liegt, war nicht ganz zutreffend. 4. Die Bestimmung der Entfernung Alexandrien-Syene (etwa 800 km) durch die ägyptische Landesvermessung war sehr ungenau.

Um diese und andere Fehlerquellen hat man sich damals kaum gekümmert. Erst in der modernen Zeit ersetzte man nicht nur unsichere Abschätzungen durch sorgfältige Messungen mit verbesserten Instrumenten, sondern legte auch Gewicht darauf, Fehlerquellen der verschiedensten Art zu vermeiden oder, wo dies nicht möglich war, ihren Einfluß auf das Ergebnis zu erkennen und tunlichst herabzusetzen. Die Geschichte der Erdmessung in neuerer Zeit ist ein lehrreiches Beispiel für die Verfeinerung der Forschungsmethoden in dieser Beziehung.

Die erste Gradmessung, von der wir in neuerer Zeit hören, ist wiederum nur ein Versuch mit unvollkommenen Mitteln. Sie wurde 1525 von dem französischen Arzt Fernel auf der geraden und ungefähr von Süden nach Norden verlaufenden Straße von Paris nach Amiens unternommen. Der Breitenunterschied beider Orte (ungefähr 1 Grad) war Fernel bekannt. Die Weglänge aber bestimmte er auf eine sehr originelle Weise: Er durchfuhr sie in seinem Wagen und zählte während der Fahrt die Umdrehungen eines Wagenrads. Den Umfang des Rades maß er genau aus und erhielt so die Länge des zurückgelegten Weges. Nun war aber die Straße keineswegs eben, sondern führte über Hügel und Täler. Infolge dieser Unebenheiten war der gemessene Weg etwas zu lang, und es spricht für die Sorgfalt des Beobachters, daß er den Einfluß dieser Fehlerquelle abschätzte und die erhaltene Weglänge um einen kleinen Betrag verkürzte.

Die durch reine Winkelmessungen zu erzielende Bestimmung des Polhöhenunterschiedes zweier Orte wurde nach der Erfindung des Fernrohrs (1610) bald zu einer Aufgabe, die mit höchster Präzision durchgeführt werden konnte. Die Ge-

nauigkeit der Längenmessung hingegen ließ noch lange Zeit sehr zu wünschen übrig. Es bestanden da verschiedene Schwierigkeiten — die schlimmste war das Fehlen eines für wissenschaftliche Zwecke dieser Art geeigneten Maßstabes. Es gab zwar im 17. Jahrhundert, in dem die ersten bedeutenden Gradmessungen moderner Zeit ausgeführt wurden, eine Unmenge von Längenmaßen, die im gewöhnlichen Leben ihre Dienste taten. Sie waren Maßeinheiten, die teils den Abmessungen des menschlichen Körpers entlehnt waren (Elle, Fuß, Zoll¹), teils willkürlich festgesetzt waren, wie z. B. die damals in Frankreich gebräuchliche *Toise* (etwa = 1,95 m). Wollte man aber eines dieser Maße zur Ausmessung des gewaltigen Erdkörpers benutzen, so mußte man die Längeneinheit selbst mit einer Genauigkeit festlegen, wie sie bis dahin unnötig und daher auch unbekannt war.

Die Länge der *Toise*, die bei den Erdvermessungen des 17. und 18. Jahrhunderts als Maßeinheit benutzt wurde, war ursprünglich gegeben durch eine an der Mauer des Grand Châtelet in Paris angebrachte eiserne Schiene, die zwei Vorsprünge aufwies, zwischen die ein Maßstab von der Länge einer Toise genau passen mußte. Leider erfüllte dies „Urmaß“ nicht die Bedingungen, die bei exakten wissenschaftlichen Messungen erforderlich sind. Witterungseinflüsse (Rost) veränderten seine Länge ständig, die natürlich auch von der Temperatur stark abhängig war. Um wenigstens den Einfluß der Temperatur auszuschalten, setzte man bald eine Normaltemperatur fest, bei der die benutzten Maßstäbe die richtige Länge haben sollten. Wurde bei anderen Temperaturen gemessen, so mußte die Ausdehnung oder Schrumpfung des Maßstabes berechnet und berücksichtigt werden. Eine weitere Unsicherheit bei der Ausmessung größerer Längen ergab sich daraus, daß es technisch sehr schwierig war, Maßstab an Maßstab so genau zu setzen, daß der Anfangspunkt der neuen Messung immer haargenau mit dem Endpunkt der vorhergehenden zusammenfiel, und daß auch die Richtung der Meßlinie immer scharf eingehalten wurde. Die Vermessung einer Länge von der Größenordnung, wie sie bei Gradmes-

¹ Ein Zoll (engl. digit) entspricht der Länge eines Fingergliedes.

sungen nun einmal erforderlich war, dauerte daher bei sorgfältiger Ausführung außerordentlich lange und war eigentlich nur auf Kosten der Genauigkeit in erträglichen Zeiträumen zu bewältigen. Es war daher ein großer Vorteil, als der holländische Physiker Snellius 1615 bei einer Gradmessung das Prinzip der *Triangulation* anwandte, das seitdem zur Grundlage aller geodätischen Messungen geworden ist. Snellius erkannte nämlich, daß man die Länge großer Strecken messen kann, indem man eine *kleine* Strecke direkt

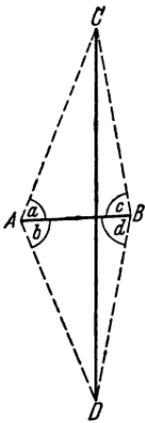


Abb. 9. Triangulation nach Snellius.

mißt (was dann auch bei aller Sorgfalt sehr genau und in kurzer Zeit möglich ist), die Länge der größeren Strecke aber auf Grund von Winkelmessungen ermittelt. Ist etwa (Abb. 9) AB die direkt vermessene Strecke (genannt „Basis“), so läßt sich die Lage der Punkte C und D berechnen, wenn man die vier Winkel a , b , c und d kennt, die mit einem Winkelmeßgerät bestimmt werden können, vorausgesetzt, daß von jedem der Punkte A und B die drei anderen Punkte sichtbar sind. So ist man also in der Lage, wenn man die kurze Basis AB sehr genau gemessen hat, allein auf Grund von Winkelmessungen die Entfernung CD zu bestimmen, und zwar wegen der größeren Zuverlässigkeit der Winkelmessungen sehr viel genauer, als dies durch direkte Streckenmessung zwischen C und D möglich wäre (Abb. 9). Man hat alsdann für weitere Messungen eine sehr viel größere Basis zur Verfügung. Will man nun eine Gradmessung durchführen, also die Entfernung zwischen Orten bestimmen, die durch weite Strecken getrennt sind, so gelingt auch dies, wenn man den Zwischenraum durch eine ganze Kette von Dreiecken überbrückt, wie das in Abb. 10 gezeigt ist. Die Ecken der Dreiecke, die natürlich weithin sichtbar sein müssen, nennt man „trigonometrische Punkte“. Sie werden nicht nur bei „Gradmessungen“ gebraucht, sondern allgemein bei der Vermessung und kartographischen Aufnahme eines Landes.

Aber nun zurück zur Geschichte der Gradmessung, deren

Verlauf uns die fortschreitende Erkenntnis der wahren Gestalt des Erdkörpers wiedergibt. Während Snellius seine trigonometrische Methode noch mit sehr primitiven Winkelmeßgeräten zur Anwendung brachte, hatte der Franzose Picard bei einer Gradmessung zwischen Paris und Amiens in den Jahren 1669/70 schon einen mit Fernrohr und Fadenzug ausgerüsteten Theodoliten zur Verfügung. Inzwischen tauchte nun ein neues Problem auf, das dem Bestreben nach weiteren Unternehmungen dieser Art einen gewaltigen Antrieb gab: Das Fernrohr hatte, wie schon im ersten Kapitel gesagt wurde, die Kugelgestalt der Planeten gezeigt und damit die Verwandtschaft dieser Himmelskörper mit unserer Erde bestätigt. Nun fand man aber bald, daß die beiden größten Planeten, *Jupiter* und *Saturn*, an ihren Polen stark abgeplattet¹ waren, daß also die Gestalt dieser Körper nicht einer Kugel, sondern vielmehr einem *Rotationsellipsoid* glich. War etwa der Schluß erlaubt, daß auch die *Erde* eine derartige Gestalt habe? Diese Frage mußte durch sorgfältige Gradmessungen lösbar sein. Eine an den Polen abgeplattete Erde mußte in verschiedenen geographischen Breiten eine verschiedene nord-südliche Krümmung besitzen. An den Polen mußte die Krümmung der Erdoberfläche am geringsten, am Äquator dagegen am stärksten sein. Die Länge eines Breitengrades (d. h. die nord-südliche Entfernung zweier Orte, deren Polhöhe sich um einen Grad unterscheidet) mußte an den Polen am größten, am Äquator am geringsten sein — sie mußte also auf der nördlichen Halbkugel von Norden nach Süden abnehmen (vgl. Abb. 11).

Der erste Versuch, den man zur Feststellung einer Abplattung der Erde auf diese Weise machte, war zunächst ein Fehlschlag. In den Jahren 1680—1718 wurden in Nord- und

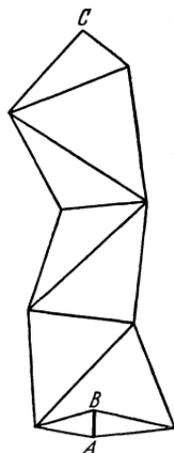


Abb. 10. Kette von trigonometrischen Punkten zur Vermessung des Gebiets zwischen zwei weit entfernten Punkten *A* und *C*. Direkt ausgemessen wird nur die „Basis“ *AB*, sonst werden nur Winkelmessungen ausgeführt.

¹ Vgl. Chant: „Die Wunder des Weltalls“, Abb. 77.

Südfrankreich verschiedene Gradmessungen unternommen, die aber merkwürdigerweise für den Süden eine geringere Erdkrümmung als für den Norden ergaben. Die Franzosen traten im Vertrauen auf die Richtigkeit ihrer Messungen damals für die Ansicht ein, daß die Erde nicht abgeplattet, sondern (etwa wie ein Ei) nach den Polen zu verlängert sei. Die englischen Gelehrten hingegen verfochten aus physikalischen Gründen die Theorie der abgeplatteten Erde. Diese Theorie fand nämlich ihre Stütze nicht nur in der Anschauung, daß ein rotierender Körper von kugelförmiger Gestalt bestrebt sein

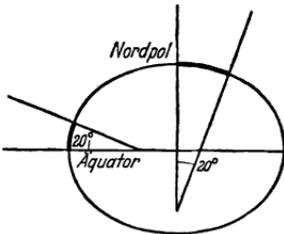


Abb. 11. Länge eines Meridianbogens von 20° Polhöhenunterschied am Pol und am Äquator einer abgeplatteten Erde (Abplattung in der Zeichnung stark übertrieben). Am Äquator sind demnach die Breitengrade kürzer als an den Polen.

muß, unter dem Einfluß der *Zentrifugalkraft* die Form eines abgeplatteten Rotationsellipsoides anzunehmen, sondern auch in den Ergebnissen von Schwerkräftenbestimmungen in verschiedenen geographischen Breiten. Nach der von Newton aufgestellten Theorie der Schwerkraft nimmt die Anziehungskraft der Erde mit dem Quadrat der Entfernung vom Erdmittelpunkt ab. Wenn also die Erde an den Polen abgeplattet ist, muß demnach die Schwerkraft an den Polen am größten, am Äquator am geringsten sein¹. Die Schwerkraft an verschiedenen Orten läßt sich aber nun

leicht vergleichen, indem man ein Pendel von gleichbleibender Länge an diesen Orten schwingen läßt: es wird um so schneller schwingen, je größer die Schwerkraft ist, die auf es wirkt. Derartige Versuche, die damals von Richer in Frankreich und im äquatorialen Südamerika (Cayenne) unternommen wurden, ergaben tatsächlich für Südamerika die längere Schwingungsdauer, die einer abgeplatteten Erdkugel entspricht.

Spätere Gradmessungsarbeiten, insbesondere die zweier von

¹ Dieser Unterschied wird noch durch die Zentrifugalkraft (Fliehkraft) verstärkt, die infolge der Erdrotation entsteht und der Schwerkraft entgegenwirkt. Sie ist am Äquator am größten, an den Polen dagegen null.

der Pariser Akademie der Wissenschaften in den Jahren von 1735—1744 unternommener Expeditionen nach Lappland und Peru, entschieden diesen Gelehrtenstreit zugunsten der Abplattungstheorie — eine spätere Nachprüfung der Picard'schen Messungen ergab, daß ihr gegenteiliges Ergebnis auf einem Rechenfehler beruht hatte.

Die Gradmessungen in Lappland und Peru sind noch aus einem anderen Grunde bedeutungsvoll: sie gaben den Anlaß zu einer genaueren und damit für wissenschaftliche Arbeiten brauchbareren Definition der Toise als Längeneinheit. Es wurde ein Urmaß geschaffen, das in Paris wettersicher aufbewahrt wurde, und das die Länge der Toise bei einer Temperatur von 13° Reaumur genau angab. Mit ihm wurden die auf den beiden Expeditionen benutzten Arbeitsmaßstäbe vor der Ausreise genau verglichen. Nach Rückkehr der Expeditionen sollte eine erneute Vergleichung stattfinden, um die Unveränderlichkeit der benutzten Maßeinheit zu gewährleisten. Leider konnte diese Vergleichung bei dem Maßstab der Lappland-Expedition nicht einwandfrei durchgeführt werden, da dieser auf der Rückreise ins Wasser fiel und nach seiner Wiederauffindung stark verrostet war.

Der Toise als Maßeinheit der Länge haftete ein Übelstand an, der sie ungeeignet erscheinen ließ, als ein Maß von internationaler Gültigkeit angesehen zu werden: ihre willkürliche Festsetzung. Im Verlauf der Reformen des öffentlichen Lebens, die während der Französischen Revolution durchgeführt wurden, kam auch diese Frage zur Verhandlung. Die Schaffung einer für alle Nationen verbindlichen Längeneinheit konnte nur gelingen, wenn man sie in Verbindung brachte mit einem naturgegebenen Maß, das allen Völkern der Erde gleich wichtig erscheinen mußte. Ein solches Maß aber war gegeben durch die Abmessungen des Planeten Erde, des gemeinsamen Wohnsitzes aller Menschen, selbst. So wurde am 7. April 1795 vom Französischen Nationalkonvent beschlossen, als neue Längeneinheit das *Meter* einzuführen und es als den 10 000 000. Teil des *Erdquadranten*, d. h. der auf der Erdoberfläche gezogenen kürzesten Verbindungslinie zwischen Pol und Äquator zu definieren. Die größte Schwierigkeit bei der Fest-

legung des Metermaßes auf solche Weise lag darin, daß die bis dahin vorliegenden Gradmessungen noch keineswegs den höchsten erreichbaren Genauigkeitswert besaßen. Es wurden neue Expeditionen ausgerüstet, durch die die Länge des Erdquadranten immer genauer bestimmt wurde, aber man wartete ihr Ergebnis nicht ab, sondern einigte sich 1799 auf ein Metermaß, das den bis dahin gewonnenen Resultaten entsprach und als „legales Meter“ bezeichnet wurde. Es wurde dargestellt durch die Entfernung zweier feiner Striche auf einem Platinstab, der im Pariser Staatsarchiv aufbewahrt wurde — als Normaltemperatur wurde 0° festgesetzt. Heute benutzen wir an Stelle des legalen Meters das „internationale Meter“, das 1889 auf Grund moderner Erdmessungsarbeiten verbessert wurde und um einen geringen Bruchteil kleiner ist als das ältere Maß.

Auch das internationale Meter, das 1893 auch in Deutschland als gesetzliches Längenmaß eingeführt wurde, erfüllt nicht genau die Bedingung, daß 10 000 000 m oder 10 000 km gleich der Länge eines Erdquadranten sind. Das liegt zum größten Teil an der Unmöglichkeit, ein Urmaß von so großer Präzision mechanisch herzustellen. Noch schwieriger aber ist das Problem, ein solches mechanisches Urmaß so unveränderlich zu erhalten, daß es für viele Jahrhunderte als Norm seine Gültigkeit behält, denn wir wissen nicht, ob wirklich das festeste Edelmetall so lange Zeit hindurch mit unsern Vorsichtsmaßregeln gegen Einflüsse, die seine Form verändern, geschützt werden kann. So ist man in neuester Zeit dazu übergegangen, die Länge des Meters mit einem anderen Naturmaß zu vergleichen: der Wellenlänge des Lichtes in bestimmten Spektrallinien.

Mit der Erkenntnis, daß die Erde die Gestalt eines abgeplatteten Rotationsellipsoids hat, also eines Körpers, der — geometrisch betrachtet — entsteht, wenn man eine Ellipse um ihre kleine Achse rotieren läßt, war man der wahren Erdgestalt wenigstens annähernd auf die Spur gekommen. Die Form der Erdoberfläche war nun nicht, wie früher, durch eine einzige Größe, den Radius oder den Umfang, bestimmt, sondern durch deren zwei — die beiden Halbachsen der so-

genannten *Meridianellipse*, die entsteht, wenn wir einen ebenen Schnitt von Pol zu Pol durch die Erde legen. Die große Halbachse, die wir mit a bezeichnen wollen, entspricht dem Erdradius am Äquator, die kleine Halbachse, b , dem Erdradius an den Polen. Als *Abplattung* bezeichnet man allgemein das Verhältnis, in dem der Unterschied beider Achsen zur großen Achse steht, d. h. die Zahl $\frac{a-b}{a}$. Als zuverlässigste Maßzahlen des Erdellipsoids gelten gegenwärtig die von Hayford (1910) gegebenen Größen:

äquatorialer Erdhalbmesser	$a = 6\,378\,388$ int. Meter
polarer Erdhalbmesser	$b = 6\,356\,909$ int. Meter
Abplattung	$\frac{a-b}{a} = 1 : 296,96$

Natürlich kann auch das Rotationsellipsoid nur als eine Annäherung an die wirkliche Gestalt des Erdkörpers angesehen werden. Dafür sorgen schon die Ungleichförmigkeiten der Erdoberfläche, die wir als *Gebirge* kennen. Wäre die Erdoberfläche vollständig mit Wasser bedeckt, so würde diese Annäherung fast völlig mit der Wirklichkeit gleichzusetzen sein. Die tatsächliche Struktur der Oberfläche unseres Planeten mit ihren Bodenerhebungen über und unter dem Meeresspiegel ergibt aber ein wesentlich komplizierteres Bild. Die Vermessung der wirklichen Oberflächengestalt des Erdkörpers ist eine sehr schwierige Aufgabe, deren Lösung einer besonderen Wissenschaft, der *Geodäsie*, zufällt. Man unterscheidet eine *niedere* und eine *höhere* Geodäsie. Die niedere Geodäsie beschäftigt sich mit der Vermessung kleinerer Oberflächenstücke, also der Festlegung der Oberflächenformen einzelner Landesteile und ihrer kartenmäßigen Darstellung. Die höhere Geodäsie hat dagegen die Aufgabe, die Ergebnisse dieser Einzeldarstellungen zu einem Gesamtbild der Erdoberfläche zusammenzufügen — die Gradmessungsarbeiten und die Vermessung großer Länder und ganzer Kontinente fallen also in ihr Arbeitsgebiet.

Hierbei treten nun große Schwierigkeiten auf, die es nicht angezeigt erscheinen lassen, etwa das Rotationsellipsoid als

Grundform der Erdoberfläche anzusehen und die Erhebung einzelner Punkte über diese Idealfäche durch Messung zu bestimmen. An sich könnte man zwar das Problem der höheren Geodäsie von diesem Gesichtspunkt aus angreifen. Seine Lösung sähe dann ungefähr folgendermaßen aus: Man überdeckt die gesamte Erde mit einem Netz von trigonometrischen Punkten, die je nach der Oberflächengestaltung verschieden hoch über der idealen Fläche, dem Rotationsellipsoid, liegen. Ihre Verbindungslinien ergeben so ein Skelett von Dreiecken, das sich der wahren Form der Erde anschmiegt, und dessen Ausmessung von einer oder von mehreren Basislinien aus nach dem Snelliusschen Prinzip der Triangulation möglich sein muß. Die größte Schwierigkeit liegt aber nun darin, daß auch die genauesten Längen- und Winkelmessungen nicht fehlerfrei sind. Hinzu kommt, daß beim Anvisieren benachbarter Dreieckspunkte, die meist viele Kilometer entfernt sind und — besonders in Gebirgsgegenden — auch in verschiedener Höhe liegen, der beim Anvisieren benutzte Lichtstrahl nicht geradlinig verläuft, sondern beim Durchlaufen verschieden dichter Luftmassen durch die *Strahlenbrechung* gekrümmt wird. Bei der Vermessung weiter Gebiete summieren sich die dadurch bewirkten Meßfehler in schwer kontrollierbarem Maße — die Folge wäre, daß das schließlich entstehende Gesamtbild des Dreieckskeletts in einer Weise verzerrt wäre, daß auch geringe Genauigkeitsansprüche nicht mehr befriedigt werden könnten. Man stelle sich etwa einen Brückenbogen vor, der aus einer Eisenkonstruktion von fest verbundenen Stäben besteht, die einen breiten Fluß überspannt. Nimmt man nun an, daß jeder einzelne Stab nur eine ganz geringe Ausdehnung, Verkürzung oder Durchbiegung erfährt, die kaum meßbar erscheint, so wird doch der Brückenbogen als Ganzes eine Formveränderung von merklichem Betrage aufweisen. Um bei der Erdvermessung die groben Verzerrungen des Dreiecknetzes zu vermeiden, ist es demnach erforderlich, sich nicht nur auf die rein geometrische Bestimmung seiner Gestalt zu verlassen, sondern wenigstens an einer größeren Zahl von Punkten dieses Netzes Kontrollen einzuführen, durch die das Meßergebnis gestützt und, wenn nötig, verbessert wird.

Solche Kontrollen liefert uns die Messung der *Schwerkraft*. Wir haben schon weiter oben gesehen, daß gerade die Schwerkraftmessungen in verschiedenen Breiten den Nachweis der Abplattung der Erde zuerst erbracht haben. Durch Messung der Dauer von Pendelschwingungen läßt sich die Größe der Schwerkraft mit einem außerordentlich hohen Grad von Genauigkeit bestimmen, durch sie erhält man zunächst Hinweise über die relative Entfernung verschiedener Beobachtungsorte vom Erdschwerpunkt und damit ein Bild von der Erdform, das nicht mehr auf rein geometrischen, sondern auf physikalischen Grundlagen beruht. Beide Vorstellungen ergänzen sich — sie miteinander in Einklang zu bringen, ist eine der schwierigsten Aufgaben der höheren Geodäsie.

Durch die Hinzuziehung der Schwerkraft wird nun als Idealform der Erdoberfläche an Stelle des Rotationsellipsoids eine andere geschlossene Fläche erhalten, die zwar einem Rotationsellipsoid sehr ähnlich ist, aber ihm gegenüber doch merkwürdige Abweichungen zeigt. Diese Fläche ist dadurch charakterisiert, daß in bezug auf sie die Schwerkraft *überall in senkrechter Richtung* wirkt (Abb. 12). Offenbar gibt es beliebig viele solcher „Niveaulflächen“, die einander umschließen, ohne sich zu berühren (etwa wie die Schalen einer Zwiebel). Eine von ihnen ist aber durch die Natur besonders ausgezeichnet und eignet sich daher in hohem Grade dazu, als Bezugsfläche für alle geodätischen Arbeiten zu dienen: die Oberfläche des Weltmeeres, die ja (wenn wir von den Wellenbewegungen, den Ebbe- und Flut-Erscheinungen und ähnlichen Veränderlichkeiten absehen) von Natur eine Niveaulfläche der Schwerkraft ist, weil jede ruhende Flüssigkeit nach bekannten physikalischen Gesetzen im Gleichgewicht ist, wenn die auf sie wirkende Kraft überall senkrecht auf

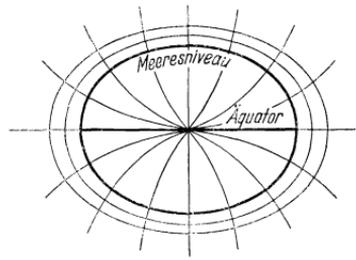


Abb. 12. Niveaulflächen der Schwerkraft und Lotrichtungen bei einer abgeplatteten Erde (Abplattung in der Zeichnung stark übertrieben). Die Lotrichtung steht überall auf den Niveaulflächen senkrecht.

ihrer Oberfläche steht. Diese durch die mittlere Meeresoberfläche gegebene Niveauläche der Schwerkraft läßt sich nun auch über die Kontinente hinweg fortgesetzt denken. Ihre Lage und ihr Verlauf läßt sich bestimmen, wenn man überall die Richtung der Schwerkraft, d. h. die *Lotrichtung*, ermittelt

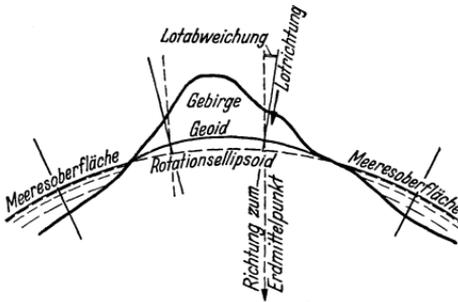


Abb. 13. Gebirge verändern durch ihre Massenanziehung die Lotrichtung. Die Fläche, die im Niveau der Meeresoberfläche überall senkrecht auf der tatsächlichen Lotrichtung steht, ist das Geoid. Unter Gebirgen ist die Geoidfläche gegenüber dem Rotationsellipsoid aufgewölbt.

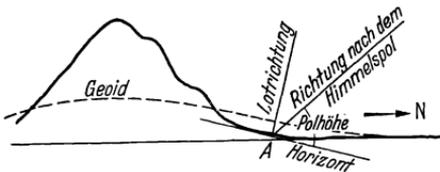


Abb. 14. Am Nordhang eines Gebirges (in A) wird der Horizont infolge der Aufwölbung der Geoidfläche nach Norden zu gesenkt; die Polhöhe erscheint demnach um die „Lotabweichung“ vergrößert.

bzw. die Lage der auf der Lotrichtung senkrecht stehenden Horizontalebene. Die Feststellung des Verlaufes der durch einen beliebigen Punkt gehenden Niveauläche und ihrer relativen Lage zur Niveauläche des Meeres spiegels bezeichnet man als *Nivellement*, die durch Fortsetzung des Meeresniveaus über die Kontinente erhaltene ideale Fläche heißt das *Geoid* (Abb. 13). Übrigens unterscheidet sich das Geoid von einem Rotationsellipsoid nur geringfügig, die Erhebungen oder Einsenkungen erreichen wahrscheinlich nirgends höhere Beträge als etwa

100 m, was in Anbetracht der gewaltigen Ausmaße des Erdkörpers nicht viel genannt werden kann.

Wie groß die Schwierigkeiten sind, alle Beobachtungen geometrischer, physikalischer und astronomischer Art, die zur Festlegung der Erdgestalt gemacht werden, miteinander in Einklang zu bringen, mag noch eine weitere Überlegung zeigen: Wir hatten gesehen, daß durch Gradmessungen in nord-südlicher Richtung die Maße des Erdellipsoids festgestellt

werden konnten, wenn man die geometrische Entfernung zweier auf einem Längengrad liegender Orte bestimmte und außerdem die geographischen Breiten dieser Orte durch astronomische Messung ihrer Polhöhe ermittelte. Wie wichtig es aber ist, hierbei die Abweichungen des Geoids von der ellipsoidischen Erdgestalt mit zu berücksichtigen, sehen wir am besten ein, wenn wir etwa annehmen, daß der südliche der beiden Beobachtungsorte am Nordrand eines gewaltigen Gebirgsmassivs liege. Die Messung der astronomischen Polhöhe beruht auf der Messung von Gestirnhöhen über dem Horizont des Beobachtungsorts, dieser ist aber allein durch die Lotrichtung, also durch die Richtung der Schwerkraft gegeben. In unserem Falle wird nun die Lotrichtung im südlichen Punkt von der normalen Lage infolge der Anziehungskraft des nahen Gebirges stark abweichen, der Horizont wird gegen die durch das Ellipsoid gegebene Normallage nach Norden zu gesenkt, nach Süden, also nach dem Gebirge zu, gehoben erscheinen. Dadurch wird die Höhe des Himmelspols, also auch die geographische Breite, vergrößert (Abb. 14), während dies bei dem nördlich gelegenen Beobachtungsort, in dem die anziehende Kraft des Gebirges nur noch gering ist, nicht in demselben Maße der Fall ist. Wir sehen also, daß in dem betrachteten Falle der gemessene Breitenunterschied kleiner ausfällt, als wenn das störende Gebirge und die durch es hervorgerufenen „Lotabweichungen“ nicht vorhanden wären. Daraus erhellt sofort, daß eine exakte Erdmessung an diesen Erscheinungen nicht vorbeigehen darf. Nivellement, Feststellung der Lotabweichungen, Messung der Schwereintensität und damit Bestimmung des Geoids müssen in mühsamer Kleinarbeit den Ergebnissen der trigonometrischen Landesvermessungen zur Seite gestellt und in sie hinein verarbeitet werden, damit ein in allen seinen Teilen richtiges Bild von der Oberfläche unseres Planeten entsteht.

III. Die Erde dreht sich.

Im vorigen Kapitel haben wir gesehen, wie die Erforschung der Gestalt des Erdkörpers ein Nebenergebnis zeitigte, das für das praktische Leben außerordentlich wichtig geworden ist: die Schaffung einer international anerkannten Längeneinheit, des Meters. Mit seinen Vielfachen und Teilen, dem Kilometer, Zentimeter und Millimeter, ist es zu einem Begriff geworden, der aus der Wissenschaft, wie auch aus dem täglichen Leben, nicht fortgedacht werden kann. Aus ihm leiten sich nicht nur die Flächen- und Raummaße (z. B. Quadratmeter, Kubikmeter) ab, sondern indirekt auch die Maßeinheiten des *Gewichts* und der *Masse* (ein Kilogramm ist das Gewicht eines Kubikdezimeters Wasser bei 4° Celsius). Von den drei Hauptmaßeinheiten der Physik (Länge, Masse, Zeit) werden also die ersten beiden mit der Erdgestalt in Beziehung gesetzt. Daß auch die Messung der *Zeit* mit den planetaren Eigenschaften der Erde in Verbindung steht, werden wir in diesem Kapitel erfahren.

Schon in frühester Zeit war die tägliche Bewegung der Gestirne, vor allem der Sonne (ihr Auf- und Untergang und der damit verbundene Wechsel zwischen Tag und Nacht) die Grundlage aller Zeitmessung oder Zeitabschätzung. Tag und Nacht regeln den Ablauf des menschlichen Lebens und menschlicher Arbeit; die Länge des regelmäßig wiederkehrenden Zyklus zwischen Helligkeit und Dunkelheit liefern dem Menschen die natürlichste Zeiteinheit, den Tag. Hierbei ist zu beachten, daß in vielen menschlichen Sprachen, so auch in der deutschen, das Wort für „Tag“ in zweierlei Bedeutung auftritt — einmal als Bezeichnung für den Zeitraum zwischen Aufgang und Untergang der Sonne, im Gegensatz zur Nacht. In diesem Sinne ist der Tag ein reines *Zählmaß*: die Aussage, daß soundso viele Tage seit einem Ereignis vergangen sind, bedeutet, daß es seitdem soundso oft hell geworden ist. Daneben bezeichnet das Wort „Tag“ aber auch die Länge der Zeitspanne, die einen Tag (im ersten Sinne) und eine Nacht umschließt, also etwa die Zeit zwischen zwei auf-

einanderfolgenden Sonnenaufgängen oder -untergängen oder die Zeitspanne zwischen dem Mittag des einen und des nächsten Tages.

Wenn wir heute, um eine Größe irgendwelcher Art messen zu können, einen für diesen Zweck geeigneten Maßstab schaffen, so erscheint es uns selbstverständlich, daß er zwei Bedingungen erfüllt: er muß *unveränderlich* und *ständig* auf seine Unveränderlichkeit nachprüfbar sein. Diese für unsere heutigen Begriffe und Erfordernisse unerläßlichen Bedingungen erfüllt nun der nach dem täglichen Lauf der *Sonne* abgemessene *Tag* ganz und gar nicht. Abgesehen davon, daß der Wechsel zwischen dem hellen Tag und der Nacht im Laufe der Jahreszeiten sehr veränderlichen Gesetzen folgt, ist auch die Gesamtdauer des Tages (im zweiten Sinne) keineswegs immer die gleiche. Setzen wir z. B., wie dies bei den alten Ägyptern, Griechen und Römern der Fall gewesen ist, den Tagesbeginn mit *Sonnenaufgang* fest, so ist leicht einzusehen, daß die Tageslänge im Frühjahr, wenn die Sonne täglich etwas früher aufgeht, kleiner sein muß als im Herbst, wenn sich der Sonnenaufgang täglich verspätet. Wesentlich gleichförmiger wird das Tagesmaß, wenn der Tagesbeginn zu Mittag oder Mitternacht festgesetzt wird. Als „Mittag“ bezeichnet man etwa den Zeitpunkt, der genau in der Mitte zwischen Aufgang und Untergang der Sonne liegt, und der dadurch der Beobachtung zugänglich wird, daß an ihm die Sonne genau im Meridian, der Nord-Süd-Linie des Himmels, steht. Die jahreszeitliche Ungleichmäßigkeit der Auf- und Untergangszeiten der Sonne wird durch diese Festsetzung zum größten Teile aufgehoben: wenn z. B. im Frühjahr der Sonnenaufgang täglich früher stattfindet, so tritt dafür der Sonnenuntergang entsprechend später ein — im Herbst ist es umgekehrt. Die Dauer der Zeitspanne zwischen Mittag und Mittag wird daher weitgehend unveränderlich sein. Dasselbe gilt für die Zeit von Mitternacht zu Mitternacht, die schon den alten Chinesen die Grundlage ihrer Zeiteinteilung lieferte. Die Tageszählung von Mitternacht zu Mitternacht hat große Vorteile, weil durch sie der lichte Tag, der für die Arbeit des Menschen eine wichtige Einheit bildet, nicht zerrissen wird. Diese Zeiteinteilung, bei

der der *Datumswechsel* während der Nachtruhe vor sich geht, hat sich daher seit der spätrömischen Zeit auch im Abendland eingebürgert. Dagegen haben — ebenfalls seit dem Altertum — die *Astronomen* immer eine Tageszählung bevorzugt, die von Mittag zu Mittag reichte: für sie war die *Nacht* die Zeit ihrer Arbeit, und sie legten Wert darauf, daß diese nicht durch den Datumswechsel in zwei Teile geteilt wurde. Erst seit 1925 haben sich die Astronomen entschlossen, ihre Tageseinteilung der bürgerlichen anzugleichen.

Daß die Tageslänge auch dann noch ungleichförmig ist, wenn man den Tagesanfang auf die durch den Sonnenlauf bestimmten Zeitpunkte des Mittags oder der Mitternacht legt, wurde offenbar, als man es lernte, ihre Dauer durch Zeitmessungen anderer Art zu kontrollieren. Schon Hipparch, einer der großen Astronomen des Altertums, der im zweiten Jahrhundert v. Chr. lebte, erkannte die Ungleichförmigkeit der Bewegung der Sonne auf ihrer jährlichen Bahn durch den Sternenhimmel und schloß daraus auf die Ungleichmäßigkeit der Tageslänge, die ja durch diese Bewegung maßgeblich beeinflußt wird. An Stelle des unmittelbar durch die Bewegung der Sonne am Himmel gegebenen Zeitmaßes, des „wahren Sonnentages“, setzte er den „mittleren Sonnentag“, der von diesen Ungleichförmigkeiten befreit ist und dessen Länge immer die gleiche bleibt. Die Einführung der *mittleren Sonnenzeit*, nach der wir auch heute unsere Uhren richten, ist so wichtig, daß wir bei ihr ein wenig verweilen müssen.

Wir fragen: Wie konnte Hipparch die ungleiche Länge des wahren Sonnentages feststellen? Es gibt dafür im Grunde nur eine einzige Möglichkeit: die Vergleichung der Tageslängen mit Hilfe einer genau gehenden *Uhr*. Zu Hipparchs Zeiten gab es künstliche Uhren von der hierzu erforderlichen Güte noch nicht. *Eine* Uhr aber stand auch ihm schon zur Verfügung, von deren gleichmäßigem Gang er fest überzeugt war: die sich täglich um ihre Achse drehende Fixsternkugel. Freilich konnte Hipparch den gleichmäßigen Gang dieser himmlischen Uhr, deren Zeiger die Sterne sind, nicht *beweisen*. Aber dazu lag auch zu seiner Zeit noch nicht das Bedürfnis vor. Wir haben im ersten Kapitel gesehen, daß die Alten sich

alle Himmelsbewegungen als gleichförmige Kreisbewegungen vorstellten, die nach ewigen Gesetzen in vollendeter Harmonie erfolgten. Dies aber galt vor allen Dingen für die Umdrehung der Fixsternsphäre, den einfachsten und großartigsten aller kosmischen Vorgänge. Wir wissen seit Kopernikus, daß der Umschwung der Fixsternsphäre nur ein Spiegelbild der Drehung der Erde um ihre Achse ist, und wir werden weiter unten sehen, daß wir für die Zuverlässigkeit dieser natürlichen Uhr bessere Gründe ins Feld führen können als die philosophischen Überlegungen der alten Griechen. Die Tatsache aber bleibt bestehen, daß Hipparch berechtigt war, die tägliche Bewegung der Fixsterne als gleichmäßig und unveränderlich anzusehen und mit ihrer Hilfe den ungleichförmigen Gang der „Sonnenuhr“ zu kontrollieren.

Betrachten wir die tägliche Umdrehung des Fixsternhimmels als völlig gleichförmig, so ist uns durch sie ein Zeitmaß von unbedingter Zuverlässigkeit gegeben. Der Zeitraum zwischen zwei Aufgängen oder zwei Untergängen eines und desselben *Fixsterns*¹, oder besser (weil genauer meßbar) der Zeitraum zwischen zwei aufeinanderfolgenden Durchgängen eines Sternes durch die Meridianlinie des Himmels, bleibt immer der gleiche. In Anlehnung an die Bezeichnung „Sonntag“ nennen wir diesen Zeitraum einen „*Sterntag*“. Der Sterntag ist ein wenig *kürzer* als der Sonntag. Das ist leicht einzusehen. Die Umdrehung der Himmelskugel, auf der wir uns die Fixsterne nach der Vorstellung der Alten festgeheftet denken wollen, erfolgt von Osten nach Westen. Die *Sonne* nimmt an dieser Bewegung teil, sie geht also, wie die Sterne, im Osten auf und im Westen unter. Sie ist aber nicht gleich den Sternen an der Himmelskugel „festgeheftet“, sondern wandert langsam zwischen ihnen weiter (Abb. 15), auf einem die Himmelskugel wie ein Gürtel umschließenden Kreise, den wir „Tierkreis“ oder „Ekliptik“ nennen. Diese Wanderung um den Tierkreis herum erfolgt in einem *Jahre*, und zwar von Westen nach Osten, also der täglichen Bewegung der Gestirne entgegen-

¹ Strenggenommen benutzt man als „Zeiger“ der Sternzeituhr nicht irgendeinen Fixstern, sondern den sogenannten „Frühlingspunkt“ (siehe Kapitel V, S. 71), dessen Lage am Fixsternhimmel sich langsam ändert.

gesetzt. Nehmen wir nun an, daß an einem bestimmten Tage die Sonne gleichzeitig mit irgendeinem Fixstern aufgeht. Am nächsten Tage wird sie dann infolge ihrer Wanderung nach Osten ein wenig später als dieser Stern aufgehen — mit anderen Worten: die Zeit zwischen zwei Sonnenaufgängen ist etwas länger als die zwischen zwei Sternaufgängen. Erst nach Ablauf eines Jahres wird die Sonne auf ihrer Wanderung durch den Tierkreis wieder an den gleichen Punkt angelangt sein — sie hat dann, wenn wir einmal einen sehr anschaulichen sportlichen Vergleich zu Hilfe nehmen, in ihrem Rennen um

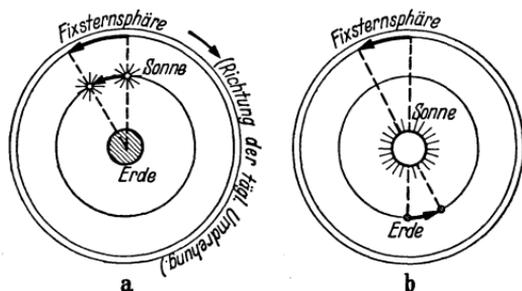


Abb. 15. Jährliche Bewegung der Sonne durch die Sternbilder des Fixsternhimmels:

- a) geozentrisch gesehen (Erde fest im Mittelpunkt, Sonne bewegt sich wirklich),
- b) heliozentrisch gesehen (Sonne fest im Mittelpunkt, Erde bewegt sich, von ihr aus gesehen umläuft die Sonne scheinbar den Himmel).

Die Abbildungen zeigen die Sonnenbahn während eines Monats.

die himmlische Arena herum genau eine Runde an die schnelleren Fixsterne verloren. Während die Sonne 365mal das Himmelsrund auf ihrer täglichen Bewegung durchheilt, haben die Sterne 366mal ihren Kreis vollendet. Das Verhältnis zwischen der Länge des Sterntages und der des Sonnentages ist also derart, daß 366 Sterntage 365 Sonnentagen gleichzusetzen sind (genauer 366,2422 Sterntg. = 365,2422 Sonnentg.¹). Hiernach kann man leicht ausrechnen, daß — wenn ein Sonnentag = 24 Stunden gesetzt wird — ein Sterntag die Dauer von 23 Stunden, 56 Minuten und 4 Sekunden haben muß.

¹ Das Jahr ist also rund $\frac{1}{4}$ Tag länger als 365 Sonnentage. Im Kalender (siehe S. 72 f) wird daher zum Ausgleich alle 4 Jahre ein „Schalttag“ eingefügt.

Bei dieser Rechnung haben wir aber keine Rücksicht auf die Ungleichmäßigkeit der Sonnenbewegung während ihrer jährlichen Bewegung durch den Tierkreis genommen. Das angegebene Verhältnis zwischen der Länge des Sterntages und der des Sonnentages ist also nur ein durchschnittliches während des ganzen Jahres. In den einzelnen Jahreszeiten weicht die Zeit zwischen zwei Meridiandurchgängen der Sonne, die wir als *wahren Sonnentag* bezeichnen, oft erheblich von dem *mittleren Sonnentag* ab, dessen Länge zu der des Sterntages in dem oben angegebenen festen Verhältnis steht.

In der Geschichte der Zeitmessung hat die Unterscheidung zwischen mittlerer und wahrer Sonnenzeit nicht immer eine Rolle gespielt. Das zeigt sich bei der Einteilung des Tages und der Messung seiner Unterabschnitte. Heute teilen wir den Tag in 24 Stunden ein — diese Teilung hat sich aus einer Zerlegung des Tages in 12 Abschnitte entwickelt, die bei den Babyloniern üblich war, ebenso bei den Chinesen und Japanern, während die Ägypter sowohl den hellen Tag als auch die Nacht in je 12 Stunden, die sogenannten „Temporalstunden“, einteilten. Die ägyptische Teilung war sehr ungleichförmig, da ja im Laufe der Jahreszeiten Tag und Nacht verschieden lang sind. Trotz ihrer großen Mängel wurde sie aber von den Griechen und Römern übernommen und hat sich auch während des Mittelalters, bis in das 14. Jahrhundert etwa, erhalten.

Der Übergang von den ungleichmäßig langen „Temporalstunden“ zu der Einteilung des Tages in 24 gleich lange Stunden ohne Rücksicht auf die Dauer von Tag und Nacht ist sehr allmählich erfolgt. Ein Überbleibsel aus alten Zeiten ist noch die Gewohnheit, die 24 Stunden des Tages nicht fortlaufend, sondern als zweimal 12 Stunden zu zählen. Diese auch nach Einführung der 24-Stunden-Zählung im öffentlichen Leben nur sehr langsam verschwindende Gewohnheit beruht hauptsächlich auf der sehr übersichtlichen Einteilung der Zifferblätter unserer Uhren, von der wir uns nicht trennen mögen. Auch das Anzeigen der Stunden durch *Schlagwerke*, die bald nach der Erfindung der Räderuhren (um 1300) eingeführt wurden, begünstigte die Beibehaltung der 12-Stunden-Zählung aus naheliegenden Gründen.

Die Räderuhren mit ihrem gleichmäßigen Gang waren für die Zeitrechnung nach den ungleich langen Temporalstunden natürlich ungeeignet — der technische Fortschritt in der Zeitmessung trug damit zur Beseitigung einer überalterten Einrichtung ebensoviel bei, wie das Bedürfnis des täglichen Lebens nach einer regelmäßigen Zeiteinteilung. Vorher bediente man sich immer noch der primitiven Zeitmessungsmethoden, die vom Altertum her überliefert waren. In der Antike gebrauchte man fast ausschließlich *Sonnenuhren*, die wahre Sonnenzeit anzeigten und nur am Tage und bei Sonnenschein zu benutzen waren. Um auch des Nachts und bei

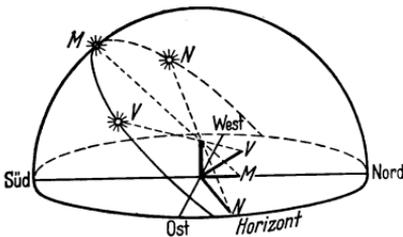


Abb. 16. Schatten des Gnomons vor-mittags (*V*), mittags (*M*) und nach-mittags (*N*). Mittags ist der Schatten am kürzesten und nach Norden gerichtet.

bewölktem Himmel die Zeit ablesen zu können, verfertigte man daneben *Wasserruhren*; das waren mit Wasser gefüllte Gefäße, deren Inhalt man durch eine enge Öffnung herausfließen ließ — der jeweilige Wasserstand zeigte die seit Beginn des Vorgangs verstrichene Zeit an. Auch die *Sanduhr*, die heute noch bei der Messung

kleiner Zeitabschnitte (z. B. beim Eierkochen) verwendet wird, gehört in diese Kategorie von Zeitmessern.

Die Grundform der *Sonnenuhren* ist der *Gnomon*, ein senkrechter Stab, der im Sonnenlicht auf einer waagerechten Unterlage einen Schatten erzeugt. Die *Länge* des Schattens bildet ein Maß für die Höhe der Sonne, d. h. für den Winkel, den die Blickrichtung nach der Sonne mit der horizontalen Ebene einschließt, die *Richtung* des Schattens gibt gleichzeitig die Himmelsrichtung an, in der die Sonne sich gerade befindet (Abb. 16). Zeigt der Schatten genau nach Norden, so steht die Sonne genau im Süden, die Sonnenuhr zeigt also den wahren Mittag an. Zu den anderen Tageszeiten ließen sich die Stunden aus der jeweiligen Richtung des Schattens nicht unmittelbar ablesen — infolge der Verschiedenheit der täglichen Sonnenbahn zu verschiedenen Jahreszeiten hätte

man genau genommen für jeden Tag des Jahres ein besonderes Zifferblatt gebraucht, auf dem der Schatten des Stabes als Stundenzeiger diente. Man half sich dadurch, daß man nicht die Schattenrichtung, sondern die (punktförmige) Lage der Schattenspitze als „Zeiger“ auffaßte. Die Schattenspitze durchläuft während eines Tages, je nach dem jahreszeitlichen Stand der Sonne, eine bestimmte Bahn auf dem „Zifferblatt“, die sich vorausberechnen und mit jeder gewünschten Stundeneinteilung versehen läßt. Bei Auf- und Untergang der Sonne wird der Schatten unendlich lang, seine Spitze ist also auf der horizontalen Ebene nicht sichtbar. Man hat daher kugelförmig oder zylinderförmig gekrümmte Zifferblattflächen eingeführt, auf denen der gesamte Schattenweg von morgens bis abends sichtbar blieb und nun, wenn man die Temporalstundeneinteilung anwendete, in 12 Abschnitte zerlegt werden konnte.

Die moderneren Sonnenuhren, in der Form, wie wir sie auch heute noch an Kirchen, Rathäusern und anderen öffentlichen oder privaten Gebäuden angebracht finden, bestehen aus einem schattenwerfenden Stab, der nicht senkrecht steht, sondern parallel zur Umdrehungsachse des Fixsternhimmels bzw. der Erdkugel orientiert ist (Abb. 17). Das hat den Vorteil, daß im Laufe der Jahreszeiten nunmehr allein die *Länge*, nicht aber die *Richtung* des Schattens von der Veränderung der täglichen Sonnenbahn betroffen wird. Wenn wir also den wahren Sonnentag in 24 gleiche Stunden einteilen, so läßt sich auf Grund dieser Einteilung ein Zifferblatt konstruieren, das während des ganzen Jahres seine Gültigkeit behält. Die Richtung des schattenwerfenden Stabes verläuft in unseren Breiten schräg aufwärts nach Norden, so daß Stab und horizontale Nordrichtung einen Winkel bil-

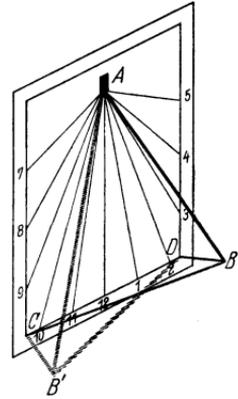


Abb. 17. Sonnenuhr an der Südwand eines Hauses. Der schattenwerfende Stab AB ist in A an der Mauer befestigt und verläuft parallel der Weltachse. Er wird durch die Stäbe BC und BD in dieser Lage festgehalten. Der Schatten AB' zeigt in der Abbildung $10\frac{3}{4}$ Uhr.

den, der gleich der geographischen Breite des Beobachtungs-ortes ist.

Die ersten *Räderuhren* waren noch sehr primitiv und hatten einen sehr ungleichmäßigen Gang, da die Regulierung des Ganges noch nicht durch das gleichmäßig schwingende Pendel erfolgte, sondern durch ein waagebalkenartiges Schwingungssystem, dessen Schwingungsdauer stark durch Zufälligkeiten, wie Reibungsänderungen, Schwerpunktsverlagerungen usw., verändert werden konnte. Das *Pendel*, das auch bei den modernen Standuhren als „Regulator“ verwendet wird, wurde erst in der Uhrentechnik eingeführt, nachdem Galilei (1602) die Gesetze der Pendelschwingungen erforscht hatte. Schon vorher (um 1500) erfand der Nürnberger Mechaniker Peter Henlein die *Taschenuhr*, deren Schwingungssystem aus einem zwischen zwei Schweinsborsten federnd aufgehängten Waagebalken bestand. Diese Vorrichtung war die Vorläuferin der *Unruhe* unserer heutigen Taschenuhren und Schiffschronometer, die 1658 von dem Engländer Hooke erfunden wurde.

Die moderne Entwicklung der Uhrentechnik, die wir nur in ganz großen Zügen streifen können, zielt auf eine immer größere Präzision der Zeitmessung ab. Die Pendeluhren werden besonders dadurch verbessert, daß man ihren Gang in weitem Maße unabhängig von der Temperatur gestaltet. Bei hohen Temperaturen dehnt sich die Pendelstange aus, das Pendel schwingt daher langsamer, und die Uhr geht nach; bei tiefer Temperatur tritt dagegen eine Gangbeschleunigung ein. Man versucht auf verschiedene Weise, diesen Übelstand zu beseitigen: etwa dadurch, daß man das Pendel aus einem Metall von sehr kleinem Ausdehnungsvermögen (z. B. Nickelstahl) herstellt oder aus mehreren in geeigneter Weise zusammengesetzten Stäben aus verschiedenen Metallen, derart, daß bei Temperaturänderungen der Schwerpunkt des ganzen Systems die gleiche Entfernung vom Aufhängungspunkt behält (Rostpendel). Ferner ist man bestrebt, die Schwingung des Pendels möglichst frei von Einflüssen der Reibung zu machen, indem man es durch geeignete Konstruktion vermeidet, das Pendel unnötige Arbeit leisten zu lassen. Die genauesten Pendeluhren

finden wir auf den modernen Sternwarten — sie sind nicht nur mit den genannten Verbesserungen ausgestattet, sondern häufig auch in Räumen untergebracht, in denen während des ganzen Jahres die Temperatur konstant gehalten wird oder, wo dies nicht möglich ist, doch die starken täglichen Temperaturschwankungen, die den Uhren besonders schädlich sind, ferngehalten werden. Die Pendel dieser Uhren schwingen zudem in abgeschlossenen Behältern, die luftleer gepumpt werden können, damit der Luftwiderstand, der die Pendelbewegung beeinflusst, ausgeschaltet oder wenigstens herabgesetzt wird.

Auch die Normaluhren der Sternwarten erreichen trotz ihrer großen Genauigkeit nicht das Vorbild, das uns die Natur in der Umdrehung der Erde um ihre Achse gegeben hat — wir sind vielmehr darauf angewiesen, diese Uhren immer wieder nach dem Lauf der Gestirne zu stellen. „Stellen“ ist allerdings ein nicht ganz zutreffender Ausdruck. Der Astronom pflegt seine Uhren nur sehr selten und auch dann nur ungern zu stellen, denn jede künstliche Veränderung an ihnen bedeutet einen Eingriff in ihren empfindlichen Mechanismus, der meist nicht ohne unliebsame Folgen ist. Die astronomischen Uhren, die meist nach *Sternzeit* gehen, werden daher nicht gestellt, auch wenn sie falsch gehen, sondern nur bei jeder sich bietenden Gelegenheit mit der himmlischen Uhr, der täglichen Drehung der Fixsternsphäre, *verglichen*. Der Unterschied der durch Sternbeobachtung ermittelten Sternzeit gegen die Angabe der Uhr heißt der *Uhrstand* — er wird nach jeder astronomischen Zeitbestimmung in einer Liste, dem Uhrenbuch, genau vermerkt. Bleibt der Uhrstand Tag für Tag derselbe, so heißt das, daß die Uhr genau so schnell geht wie die himmlische Normaluhr. Ändert sich dagegen der Uhrstand im Laufe der Zeit, so ist sie falsch reguliert, sie „verliert“ oder „gewinnt“. Die tägliche Änderung des Uhrstandes heißt der *Uhrgang*. Für die Güte einer astronomischen Uhr ist der Gang selbst nicht maßgebend, er kann nötigenfalls durch kleine Gewichtsstücke, die auf den Pendelkörper aufgelegt werden, auf ein erträgliches Maß herabgedrückt werden. Wichtig ist dagegen, daß der Gang über längere Zeiträume

hinweg konstant bleibt, d. h. sich nicht ändert. Ist dies der Fall, so ist man nämlich in der Lage, für jeden Zeitpunkt, der zwischen zwei Zeitbestimmungen liegt, die Mißweisung der Uhr genau zu *berechnen*, so daß man also jederzeit die genaue Zeit durch Anbringen einer Korrektur an die abgelesene Uhrzeit ermitteln kann. Schwankungen des Ganges oder gar sprunghafte Änderungen (wie sie z. B. durch Erschütterungen der Uhr hervorgerufen werden) vermindern dagegen den Wert der Zeitangaben oft beträchtlich.

Die *Zeitbestimmung*, d. h. der unmittelbare Vergleich einer nach Sternzeit regulierten Arbeitsuhr mit der großen Sternenuhr selbst, geschieht in der Weise, daß die Zeit des Durchganges von Fixsternen durch die Meridianlinie des Himmels mit besonders für diesen Zweck eingerichteten Fernrohren, sogenannten Meridianinstrumenten, beobachtet und nach den Angaben der Arbeitsuhr registriert wird. Für solche Zeitbestimmungen werden hellere Fixsterne benutzt, deren Lage an der Himmelskugel sehr genau vermessen ist, und deren Durchgangszeiten durch den Meridian daher bekannt und in den astronomischen Jahrbüchern aufgezeichnet sind. Durch die Beobachtung solcher Sterne, die als „Fundamentalsterne“ bezeichnet werden, sind wir mit den heutigen Mitteln imstande, die Abweichungen einer Uhr bis auf ein Hundertstel einer Sekunde genau zu bestimmen.

Die Frage nach der unbedingten Zuverlässigkeit der „Himmelsuhr“, also nach der absoluten Regelmäßigkeit der Erdrotation, die wir bisher immer stillschweigend voraussetzten, haben wir noch offengelassen. Zweifel an dieser Grundtatsache unserer Zeitmessung sind schon seit langem laut geworden. So lassen gewisse Abweichungen, die die Bewegung des *Mondes* von der theoretisch zu erwartenden Bahn zeigt, die Erklärung zu, daß die Zeiteinheit, also die Rotationszeit der Erde, sich im Laufe der Jahre und Jahrzehnte ändert, wenn auch nur um ganz geringfügige Beträge. Es leuchtet wohl ein, daß man derartige Gangänderungen der Erduhr nur dann einwandfrei nachweisen könnte, wenn es gelänge, Uhren zu schaffen, deren Gang so regelmäßig ist, daß man sich lange Zeit hindurch — über Monate und Jahre — auf seine Unver-

änderlichkeit verlassen kann. Wenn dann eine solche Uhr, oder besser mehrere derartige Uhren in gleicher Weise, bei astronomischen Zeitvergleichen allmähliche oder sprunghafte Gangänderungen zeigen, dann kann das nicht an den Uhren liegen, sondern hat seinen Grund in Änderungen der Rotationszeit der Erde selbst. In den letzten Jahren ist es nun gelungen, solche wunderbare Uhren zu bauen — die *Quarzuhren*, in denen die Umdrehungen eines elektrisch betriebenen Kreisels durch Schwingungsvorgänge in Quarzkristallen gesteuert und dadurch mit einer bisher unerreichten Genauigkeit konstant gehalten werden. Mit Hilfe der Quarzuhren wird man sehr bald in der Lage sein, die Umdrehungsgeschwindigkeit unseres Planeten genau unter Kontrolle zu halten. — Es wird langjähriger Beobachtungen bedürfen, bis über diesen Punkt völlige Sicherheit herrscht. Wahrscheinlich ist es, daß die Rotationsdauer der Erde langsam zunimmt, der Tag also länger wird — das Tempo der Verlangsamung der Erdrotation wird allerdings die Größenordnung einer Sekunde im Jahrhundert kaum wesentlich übersteigen. Über die Ursachen einer solchen allmählichen Abbremsung der Erddrehung werden wir im letzten Kapitel dieses Buches noch einiges erfahren. Außer der stetig fortschreitenden Änderung der Tageslänge sind auch mehr oder weniger unregelmäßige Schwankungen denkbar, die von Massenverlagerungen im Erdkörper und an seiner Oberfläche herrühren. Alle diese Veränderungen sind aber geringfügig und werden uns niemals davon abhalten, unsere Uhren nach der Umdrehung der Erde um ihre Achse zu stellen.

Im Laufe der vorstehenden Betrachtungen haben wir drei verschiedene Arten der Zeitmessung und Zeiteinteilung kennengelernt; sie lieferten uns als Zeiteinheiten den Sterntag, den mittleren Sonnentag und den wahren Sonnentag. Der Sterntag spielt im gewöhnlichen Leben keine Rolle, seine Bedeutung liegt aber darin, daß er unmittelbar auf der Beziehung zwischen der rotierenden Erde und dem gesamten sie umgebenden Weltganzen beruht. Ein Sterntag ist die Zeit, in der sich die Erde in bezug auf den als ruhend angesehenen stern erfüllten Weltraum einmal um ihre Achse dreht. Im

bürgerlichen Leben teilen wir aber unsere Zeit nicht nach dem Stand der Sterne, sondern nach dem der Sonne ein: der wahre Sonnentag, der uns streng durch den Stand der Sonne am Himmel gegeben ist, erfüllt diese Forderung am besten — seine Festsetzung und Einteilung wird uns in vollkommener Weise durch die Sonnenuhr vermittelt, die z. B. immer dann 12 Uhr mittags anzeigt, wenn die Sonne genau im Süden steht, also ihren höchsten Stand erreicht hat und die Meridianlinie überschreitet. In einer Zeit, als es den Menschen nicht darauf ankam, ihre Zeitangaben genauer als auf Viertelstunden zu machen, taten diese Uhren vollauf ihre Dienste. Heute stellen wir sehr viel größere Ansprüche an die Genauigkeit der Uhrzeit, und darum benutzen wir die mittlere Sonnenzeit, die gewissermaßen ein Kompromiß zwischen der genauen, aber vom Sonnenlauf unabhängigen Sternzeit und der nach der Sonne orientierten, aber ungleichmäßig ablaufenden und daher mit der Angabe gleichmäßig gehender Uhren nicht in Einklang zu bringenden wahren Sonnenzeit darstellt. Die mittlere Sonnenzeit ist ein gleichmäßig fortschreitendes Zeitmaß wie die Sternzeit; ihre Einheit, der mittlere Sonnentag, ist aber, wie wir schon feststellten, etwas länger als der Stern- tag und so abgemessen, daß er gleich dem Durchschnittswert des veränderlichen wahren Sonnentages ist. An die Stelle der wahren Sonne, deren Bewegung am Himmel wir unmittelbar verfolgen, ist gewissermaßen eine gedachte (mittlere) Sonne gesetzt, die sich gleichmäßig bewegt, und zwar so, daß die wahre Sonne mit ihrer veränderlichen Geschwindigkeit ihr bald voraneilt, bald hinter ihr zurückbleibt, sich aber niemals weit von ihr entfernt. Den Unterschied zwischen der mittleren und der wahren Sonnenzeit nennt man die *Zeitgleichung*. Die *Zeitgleichung* ist im Laufe eines Jahres viermal gleich null (siehe Abb. 18) — an diesen Tagen zeigt die Sonnenuhr die mittlere Sonnenzeit genau an. Ist die *Zeitgleichung* positiv, so heißt das, daß die mittlere Zeit weiter fortgeschritten ist als die wahre, die Sonnenuhr geht also nach. Ist dagegen die *Zeitgleichung* negativ, so geht die Sonnenuhr vor. Wenn man demnach eine Sonnenuhr abliest, so braucht man nur die *Zeitgleichung*, die für den betreffenden Tag gilt, anzubringen,

um die mittlere Sonnenzeit zu erhalten (d. h. hinzuzufügen, wenn die Zeitgleichung positiv, abzuziehen, wenn sie negativ ist).

Alle Zeitangaben, ob sie nun nach Sternzeit, mittlerer oder wahrer Sonnenzeit gegeben sind, sind eng mit dem Ort verknüpft, an dem man die

Gestirne zwecks Zeitbestimmung beobachtet. Wir zählen 0 Uhr Sternzeit, wenn ein bestimmter Punkt des Fixsternhimmels, der Frühlingspunkt, durch den Meridian des Beobachtungsortes geht. Bei der Sonnenzeit tritt an die Stelle des Frühlingspunktes die mittlere bzw. die wahre Sonne, die (wenn wir die Tage von Mitternacht ab zählen) um 12 Uhr den Meridian passiert. Der Meridian ist aber fest mit dem Beobachtungsort verbunden — er stellt eine Ebene dar, die senkrecht auf dem Horizont des Beobachtungsortes steht und von Norden nach Süden orientiert ist. Jeder Ort der Erdoberfläche hat somit seinen eigenen Meridian und daher auch seine eigene Zeit — nur solche Orte,

die auf dem gleichen Längengreis liegen, deren Verbindungslinie also nord-südlich verläuft, haben den gleichen Meridian und daher auch die gleiche Zeit. Wir haben schon im vorigen Kapitel diese Eigentümlichkeit festgestellt, als von der allseitigen Krümmung der Erdoberfläche die Rede war. Wenn wir nach Westen

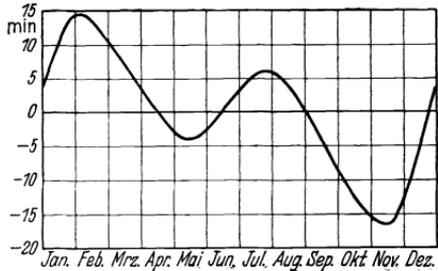


Abb. 18. Verlauf der Zeitgleichung während eines Jahres. Die Zeitgleichung muß an die Angaben der Sonnenuhr (wahre Ortszeit) angebracht werden, wenn man die mittlere Ortszeit erhalten will.

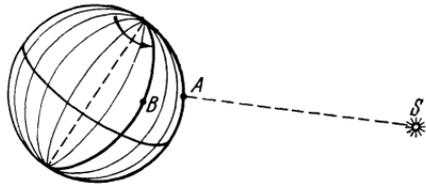


Abb. 19. Die Ortszeit ist von der geographischen Länge abhängig. Der Stern S steht in dem durch die Abbildung wiedergegebenen Zeitpunkt im Meridian von A . Durch den Meridian von B wird er erst dann gehen, wenn durch die Erddrehung (in der Pfeilrichtung) der durch B gehende Längengreis in die Lage des Längengreises von A übergeführt worden ist. Bedeutet S die Sonne, so ist im Zeitpunkt der Zeichnung für A wahrer Mittag, für B erst einige Stunden später.

reisen, so macht sich die Erdkrümmung dadurch bemerkbar, daß die Gestirne später auf- und untergehen (Abb. 19). Gleichzeitig stellten wir fest, daß diese Erscheinung nur dadurch meßbar zu verfolgen ist, daß wir eine zuverlässige Uhr auf die Reise mitnehmen. Sonnenuhren sind für diesen Zweck natürlich unbrauchbar, weil sie ja überall, wo sie aufgestellt werden, die Ortszeit angeben. Pendeluhren sind ebenfalls ungeeignet, weil sie einen festen Standort brauchen und Ortsveränderungen (auch Schiffsreisen wegen der schlingernden Bewegungen der Schiffe) nicht vertragen. Gute Taschenuhren und Schiffschronometer, also Uhren, die durch eine Unruhe reguliert werden, halten dagegen bei Reisen nach Westen oder Osten die Ortszeit des Ausreiseortes und ermöglichen daher am Zielort einen Vergleich der Ortszeiten an beiden Punkten.

Wir werden auf diese Erscheinung im nächsten Kapitel noch zurückkommen. Hier interessiert uns die Tatsache, daß die unmittelbar am Himmel abgelesene Zeit eine ortsgebundene Zeit ist, und daß daher an zwei verschiedenen Orten — wenn sie nicht gerade auf dem gleichen Längengrad liegen — die Uhren verschieden gehen müßten. Das war in früheren Jahrhunderten auch tatsächlich der Fall. Heute wäre ein solcher Zustand undenkbar — wir brauchen nur an den Eisenbahnverkehr zu denken, der zu seinem regelmäßigen Ablauf eine Zeitrechnung erfordert, die wenigstens innerhalb großer Gebiete einheitlich ist. Man ist daher seit den 80er Jahren des vorigen Jahrhunderts dazu übergegangen, sogenannte *Zonenzeiten* einzuführen, die für ein ganzes Land gültig sind. Für das Deutsche Reich gilt seit 1893 allgemein die *mitteleuropäische Zeit*, die gleich der Ortszeit des 15. Längengrads östlich von Greenwich ist. Seitdem ist es nicht mehr notwendig, die Uhr zu stellen, wenn man von Aachen nach Königsberg fährt, obwohl die Ortszeiten dieser beiden Städte ungefähr um eine Stunde verschieden sind.

Die mitteleuropäische Zeit (MEZ.) ist, außer in Deutschland, in allen Ländern eingeführt worden, die sich um den 15. Längengrad gruppieren, also z. B. in den skandinavischen Ländern, in der Schweiz und in Italien. In den westeuropäischen

Ländern (England, Frankreich, Belgien, Spanien und Portugal) richtet man sich nach der Ortszeit des Nullmeridians von Greenwich, die als westeuropäische Zeit (WEZ.) bekannt ist. Die Niederlande haben sich der WEZ. nicht angeschlossen, sondern eine eigene Landeszeit nach dem Meridian von Amsterdam eingeführt. In großen Ländern, die eine weite ost-westliche Ausdehnung haben, wie z. B. in Rußland und den Vereinigten Staaten von Nordamerika, läßt sich eine einheitliche Zeit nicht einrichten, da die Ortszeitunterschiede in Osten und Westen allzu groß sind. So gibt es in Nordamerika fünf Zonenzeiten, nach den Meridianen 75° , 90° , 105° , 120° und 135° westlicher Länge, deren Ortszeiten sich jeweils um eine Stunde unterscheiden.

Die Zonenzeiten bieten den Vorteil, daß man sich wenigstens innerhalb eines und desselben Landes oder eines weiten Gebietes nach der gleichen Uhrzeit richten kann. An sich könnte man natürlich sehr gut auch für die ganze Erde eine Normalzeit schaffen, also etwa die des Nullmeridians (der durch die Sternwarte von London-Greenwich geht). Die Wissenschaft hat das längst getan — in der Astronomie z. B. werden, wenigstens im internationalen Beobachtungsaustausch, alle Daten in dieser Normalzeit ausgedrückt, die man als „Weltzeit“ (WZ.) besonders kennzeichnet. Im bürgerlichen Leben würde die Einführung der Weltzeit wohl auf erhebliche Schwierigkeiten stoßen, da sie nur in den Ländern, die in der Nähe des Nullmeridians liegen, noch eine merkliche Beziehung zum Lauf der Sonne hätte, während die Amerikaner sich daran gewöhnen müßten, daß es 12 Uhr wäre, wenn sie morgens aufwachen.

Alle Beziehungen zwischen Himmel und Erde, die zur Definition des Zeitmaßes und zur Technik der Zeitmessung führten, würden in genau der gleichen Weise gültig sein, wenn wir von der vorkopernikanischen Anschauungsweise ausgehen würden, daß die Erde ruht und der Fixsternhimmel als riesige Kugelschale in einem Sterntage um die Weltenachse rotiert. Im ersten Kapitel haben wir gelernt, daß diese Vorstellung mit der Gesamtheit des modernen Weltbildes nicht mehr vereinbar war — es ist widersinnig, anzunehmen, daß sich

eine ganze unendliche Welt um ein so kleines Staubkörnchen drehen soll, wie es unsere Erde nun einmal ist. Dieser Schluß ist für uns deswegen so zwingend, weil wir in der Lage waren, uns über Größe und Struktur des Weltgebäudes sicher zu unterrichten. Das aber konnten wir auch nur, weil wir durch das Licht der Gestirne Kunde von den fernen Welten des Raumes erhalten und somit ständig in Fühlung mit den Ereignissen außerhalb unseres Planeten stehen. Wir brauchen uns nur vorzustellen, daß unsere Erde ständig — so wie wir es bei einigen anderen Himmelskörpern beobachten — in eine dichte Wolkendecke eingehüllt wäre, und uns somit der Einblick in die Tiefen des Raumes verwehrt bliebe. Es wäre gar nicht abzusehen, was für einschneidende Folgen ein solcher fast geringfügig zu nennender Umstand für die Entwicklung einer menschlichen Kultur gehabt haben würde. Wahrscheinlich würde auch ohne die Möglichkeit astronomischer Forschung eine Kultur entstanden sein, aber wenn wir auch nicht wissen können, wie sie im einzelnen aussehen würde, so wissen wir doch, daß sie in ihrer Entwicklung ganz andere Wege hätte gehen und zu ganz anderen Zielen und Ergebnissen hätte gelangen müssen. Es mag dichterischer Phantasie überlassen bleiben, sich diese Wege und Ziele auszumalen und das Leben einer Menschheit zu schildern, die von den Wechselwirkungen zwischen Erde und Kosmos nur das Wenige zu spüren bekommt, das ohne Vermittlung des Lichtstrahls seinen Sinnen zugänglich ist.

Würde der Mensch unter so erschwerenden Umständen imstande sein, die Drehung der Erde um ihre Achse zu erkennen?

Wir müssen diese Frage grundsätzlich bejahen, denn es gibt in der Tat eine ganze Anzahl von Naturerscheinungen, die ihre einfachste Erklärung durch die Rotation des Erdkörpers finden. Der bekannteste physikalische Beweis für die Erdumdrehung ist der Foucaultsche *Pendelversuch*: Läßt man ein (möglichst langes und schweres) Pendel frei schwingen, so behält die Schwingungsebene ihre ursprüngliche Lage nicht bei, wie es nach dem Galileischen Gesetze der Trägheit sein müßte, sondern dreht sich langsam und gleichmäßig. Würde dieser Versuch am Nordpol ausgeführt

werden (Abb. 20), so würde die Ebene der Pendelschwingung im Laufe eines Sterntages eine volle Drehung in ost-westlicher Richtung ausführen. In Wirklichkeit bleibt die Schwingungsebene im Raume dieselbe, die Drehung ist nur scheinbar: die Erde dreht sich unter dem Pendel in entgegengesetzter Richtung. Am Äquator tritt dieser Effekt nicht in Erscheinung, in mittleren Breiten nur mit einem geringeren Betrage. Foucault führte diesen Versuch 1851 im Pantheon zu Paris aus.

Ein weiterer physikalischer Beweis der Erdrotation beruht ebenfalls auf dem Trägheitsgesetz: Läßt man einen schweren Körper in einen tiefen Schacht hineinfallen, so würde er bei ruhender Erde genau senkrecht unter dem Punkt, von dem aus der Fall begann, auf den Boden aufschlagen. In Wirklichkeit ergibt sich aber eine geringe Abweichung nach *Osten*, die auf die Erdrotation zurückzuführen ist (Abb. 21). Der Anfangspunkt der Fallbewegung ist nämlich etwas weiter von der Erdachse entfernt als der Erdpunkt. Der fallende Körper bringt daher infolge der Erddrehung eine etwas größere westöstliche Bewegung mit, als unten herrscht, und behält diesen Geschwindigkeitsüberschuß nach dem Gesetz der Trägheit während des Falles bei. Dieser Effekt wird, umgekehrt wie beim Foucaultschen Pendelversuch, am

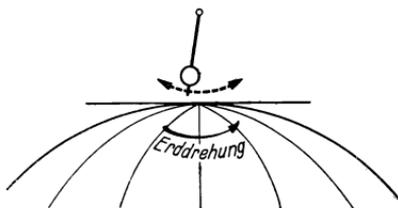


Abb. 20. Foucaultsches Pendel (auf dem Nordpol). Das Pendel behält seine Schwingungsebene im Raume, die hier mit der Zeichenebene zusammenfällt, ständig bei. Die Erde dreht sich unter dem Pendel hinweg, infolgedessen scheint es dem Beobachter, als drehe sich die Schwingungsebene in entgegengesetztem Sinne.

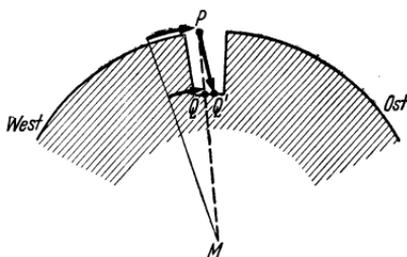


Abb. 21. Läßt man von *P* aus einen Stein in einen tiefen Schacht fallen, so fällt er nicht lotrecht nach *Q*, sondern etwas weiter östlich nach *Q'*, denn die west-östliche Geschwindigkeit durch die Erddrehung nimmt mit der Tiefe ab, wie die beiden Pfeile zeigen, der Stein behält aber während des Falles infolge der Trägheit die größere seitliche Geschwindigkeit bei.

Äquator am größten sein, an den Polen der Erde jedoch verschwinden.

Weitere Experimente dieser Art macht die Natur selbst: Das Auftreten der Passatwinde in den subtropischen Breiten mit ihren charakteristischen Windrichtungen (Abb. 22), die Wirbelbewegungen in den Zyklonen (Gebieten tiefen Luft-

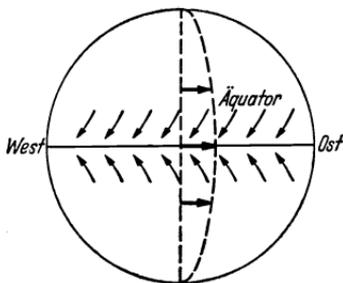


Abb. 22. Entstehung der Passatwinde: Infolge der starken Erwärmung am Äquator werden beständig Luftmassen aus den subtropischen Gebieten nach dem Äquator zu angesaugt. Bei ruhender Erde würden die dadurch entstehenden Winde genau aus Norden bzw. Süden wehen. Da sich aber die Erde dreht und die Drehgeschwindigkeit in den höheren Breiten geringer ist als am Äquator (siehe die Pfeile), bringen diese Luftmassen eine kleinere Geschwindigkeit mit und bleiben daher gegen die Erdrotation zurück. So entstehen also Nordost- bzw. Südostwinde.

drucks) der gemäßigten Zonen, die auf der nördlichen Halbkugel entgegengesetzt dem Uhrzeigersinn, auf der Südhalbkugel aber im Uhrzeigersinn vor sich gehen, lassen sich zwanglos erklären, wenn man eine Rotation der Erde voraussetzt, während sich sonst ein vernünftiger Grund für diese und ähnliche Erscheinungen nicht angeben ließe.

Daß die Erde sich dreht, ist demnach eine Tatsache, für die ein Physiker auch ohne den Augenschein zwingende Gründe ins Feld führen könnte. Es darf aber nicht übersehen werden, daß alle diese Beweise erst geführt worden sind, nachdem über den Vorgang der Erddrehung selbst auf Grund des gesamten Weltbildes kein Zweifel mehr herrschte.

Auch sind die physikalischen Gesetze, auf denen diese Beweise beruhen, nicht unabhängig von der astronomischen Erkenntnis der Weltzusammenhänge gefunden worden; die Entwicklung der Astronomie hat vielmehr auf die Entwicklung der Physik maßgeblichen Einfluß gehabt. Es ist wesentlich leichter, eine einmal als richtig erkannte Tatsache an Erscheinungen zu bestätigen, die notwendige Folgerungen dieser Tatsache sind, als auf Grund dieser Erscheinungen selbst (besonders wenn sie so unauffällig sind wie die oben genannten) das ihnen zugrunde liegende Gesetz erst abzuleiten.

IV. Die Orientierung auf der Erdoberfläche.

Die selbstverständliche Voraussetzung für die Beherrschung des Erdballs durch das Menschengeschlecht war die genaue Kenntnis seiner Oberfläche. Die Erforschung der Erdoberfläche, deren kugelförmige Gestalt ja seit dem Altertum bekannt war, hat sich erst in den letzten Jahrhunderten vollendet — heute sind die bekannten weißen Flecke auf der Erdkarte (die noch vor hundert Jahren eine erhebliche Ausdehnung hatten) bis auf geringe Reste verschwunden.

Ungeheure Forscherarbeit ist geleistet worden, um die Gestaltung der Erde nicht nur ihrer geometrischen Form nach, sondern in allen ihren Einzelheiten festzulegen und kartonmäßig aufzuzeichnen. Wir denken dabei an die Kriegszüge Alexanders und Cäsars, die einen großen Teil der Alten Welt aufschlossen, an die kühnen Seereisen des Vasco da Gama, des Kolumbus und anderer Weltentdecker, an die modernen Forschungsreisen in allen Erdteilen und an die Eroberung der schwer zugänglichen Polargebiete. Wir dürfen aber auch die weniger gefahrvolle, doch schwierige und zeitraubende Kleinarbeit nicht vergessen, die in der genauen Vermessung und kartographischen Aufnahme der Kulturländer steckt, und die uns die zuverlässigen Karten liefert, nach denen sich der Reisende und der Wanderer in allen Weltteilen zurechtfindet.

Bevor diese Karten geschaffen waren, war der Reisende auf andere Mittel angewiesen, sich auf der Erde zu orientieren — er mußte seinen Weg nach den Wegweisern suchen, die die Natur ihm selbst aufgerichtet hat. Heute noch ist der Forscher in wenig bekannten Gegenden, deren geographische Erschließung er vollenden soll, auf diese natürlichen Hilfsmittel angewiesen. Auch der Seemann kann nicht ohne weiteres nach der Karte fahren, denn das Wasser bietet dem Auge keine Anhaltspunkte. Wenn er nicht seinen Weg in Sichtweite der Küste sucht, oder wenn nicht Inseln, Leuchttürme und Feuerschiffe seine Orientierung erleichtern, muß er seine Zuflucht zu den Gestirnen des Himmels nehmen, aus deren Stand und Bewegung er den Ort seines Schiffes abzulesen gelernt hat. Es

gibt kaum ein eindringlicheres Beispiel für die Abhängigkeit des Menschen vom Geschehen des Kosmos, als die Verbundenheit zwischen Seefahrt und astronomischer Beobachtungskunst. Erst in neuester Zeit beginnt sich diese Abhängigkeit stark zu lockern: im Zeitalter der drahtlosen Telegraphie stellt der *Bordfunke* die Verbindung zwischen Schiff und Umwelt her, die sonst die Gestirne vermittelten.

Wenn wir einen *Globus*, das verkleinerte Abbild der Erdkugel, betrachten, so sehen wir ihn mit einem Netz von sich rechtwinklig schneidenden Linien überzogen, dem *Gradnetz*. Die Einrichtung dieses Gradnetzes darf hier als bekannt vorausgesetzt werden: Zwei Punkte der Erdkugel sind besonders ausgezeichnet, die *Pole* (Nord- und Südpol), deren Verbindungslinie die Rotationsachse der Erde ist. In ihnen laufen die *Längenkreise* (Meridiane) zusammen, deren Richtung in jedem Punkt der Erdoberfläche nord-südlich verläuft. Senkrecht zu ihnen, in ost-westlicher Richtung, laufen die *Breitenkreise*, deren Ebenen parallel und zur Erdachse senkrecht verlaufen. Im Gegensatz zu den Längenkreisen haben die Breitenkreise verschiedene Durchmesser — der größte unter ihnen ist der Äquator, der die ganze Erde in eine nördliche und eine südliche Halbkugel teilt. Breiten- und Längenkreise sind in bekannter Weise numeriert: jeder Ort der Erdoberfläche ist seiner Lage nach bestimmt, wenn die Maßzahl des Breiten- und des Längenkreises angegeben wird, auf dem er liegt. Diese Maßzahlen sind die *geographische Breite* und die *geographische Länge*. Nur die beiden Pole haben keine geographische Länge, weil in ihnen sämtliche Längenkreise zusammenlaufen — sie sind durch die Angabe: 90° nördliche bzw. südliche Breite völlig gekennzeichnet. Am Äquator ist die Breite 0° ; die längs eines Längenkreises gemessene Strecke zwischen Äquator und Pol, der *Erdquadrant*, wird demnach in 90 Grade eingeteilt. Aus dem zweiten Kapitel wissen wir, daß diese Strecke genau 10000 km mißt, die durchschnittliche Entfernung zweier Breitengrade ist demnach der 90. Teil davon, nämlich $111\frac{1}{9}$ km. Ein Grad Breite wird in 60 *Bogenminuten* eingeteilt, die durchschnittliche Länge einer Bogenminute ist also rund 1852 m — der Seemann benutzt diese

Länge gern als Maßeinheit und nennt sie eine *Seemeile*. Die Bogenminute wiederum wird in 60 *Bogensekunden* eingeteilt, deren Länge somit nahezu 31 m beträgt.

Auf festem Lande ist die Bestimmung der geographischen Breite eines Ortes durch fest aufgestellte astronomische Meßinstrumente mit außerordentlich großer Genauigkeit möglich. Die geographische Breite eines Ortes ist ja, wie wir bereits aus dem zweiten Kapitel wissen, gleich der Höhe des Himmelspols über dem Horizont, ausgedrückt in Winkelmaß (der rechte Winkel = 90° gesetzt). Am Nordpol befindet sich der nördliche Himmelspol im Zenit, also in einer Höhe von 90° über dem Horizont; am Äquator stehen beide Himmelspole im Horizont, ihre Höhe ist demnach 0° . In mittleren Breiten läßt sich die Polhöhe etwa so bestimmen, daß man einen Stern in der Nähe des Himmelspols beobachtet, etwa den Polarstern, der nur rund 1° vom Nordpol des Himmels entfernt steht. Mißt man seine Höhe zu den beiden Zeiten, in denen er genau über und genau unter dem Himmelspol steht (infolge der täglichen Drehung der Himmelskugel liegen diese beiden Zeiten 12 Sternzeitstunden auseinander), so ist die halbe Summe dieser beiden Höhen der geographischen Breite gleich (Abb. 23). Allerdings muß man hierbei noch berücksichtigen, daß der vom Stern zu uns gelangende Lichtstrahl die irdische Atmosphäre in schräger Richtung durchläuft und daher durch die Strahlenbrechung (Refraktion) vom geradlinigen Verlauf abgelenkt wird. Es ist leicht einzusehen, daß die beobachtete „scheinbare“ Höhe des Sterns infolge dieser Ablenkung größer ist als die wahre: der Stern erscheint gehoben, ähnlich wie wir einen am Grunde eines Wasserbeckens liegenden Gegenstand gehoben sehen, wenn wir schräg in das

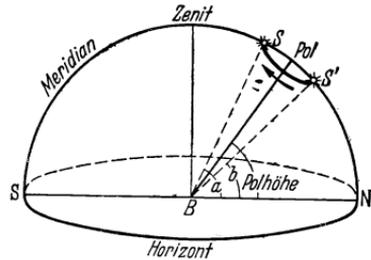


Abb. 23. Bestimmung der Polhöhe aus Zirkumpolarstern-Höhen. Der polnahe Stern (Zirkumpolarstern) durchläuft die Meridianlinie des Himmels täglich zweimal (bei S und S'). Die beiden zugehörigen Höhen sind a und b . Die Polhöhe (geographische Breite) des Beobachtungsorts B ist dann $= \frac{1}{2}(a+b)$.

Wasser hineinblicken. Der Astronom, der die Polhöhe seines Beobachtungsortes bestimmen will, muß also die Wirkung der Strahlenbrechung berücksichtigen — eine Aufgabe, die bei höchsten Genauigkeitsansprüchen nur unvollkommen lösbar ist, da die Strahlenbrechung in sehr komplizierter Weise von dem jeweiligen Zustand der Luft (Temperatur, Dichte, Schichtung usw.) abhängt. Er zieht es daher vor, bei derartigen Messungen Sterne zu benutzen, die auf ihrem täglichen

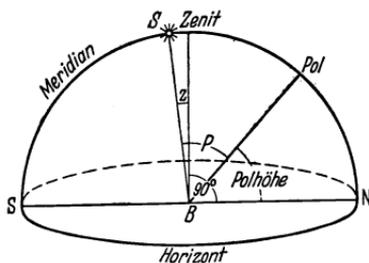


Abb. 24. Bestimmung der Polhöhe durch Beobachtung von Zenitsternen. Der Stern *S* geht in Zenitnähe (in der Abbildung etwas südlich vom Zenit) durch den Meridian. Seine Zenitentfernung *z*, ein kleiner Winkel, läßt sich sehr genau messen. Die Winkelentfernung *P* des Sterns vom Himmelspol ist aus Sternkatalogen bekannt. Die Polhöhe ist dann, wie man unmittelbar aus der Abbildung abliest, $= 90^\circ + z - P$.

Wege in der Nähe des *Zenits* seines Standortes vorbeigehen (Abb. 24) — der Lichtstrahl eines Zenitsterns durchläuft die Atmosphäre genau senkrecht zu ihrer Schichtung und ist deswegen den Einflüssen der Strahlenbrechung nicht ausgesetzt.

Mit Hilfe der genauesten Meßfernrohre, die wir auf unseren Sternwarten finden, läßt sich die Polhöhe und damit die geographische Breite bis auf ein Hundertstel einer Bogensekunde festlegen — das bedeutet nach dem oben Gesagten, daß der Standort des Instruments sich bis auf einige 30 cm

genau in das Gradnetz der Erdkugel einordnen läßt — eine Genauigkeit, die uns phantastisch anmutet, wenn wir die gewaltige Ausdehnung des Erdkörpers selbst danebenhalten.

Der Forscher in unerschlossenem Land und der Seemann auf hohem Meer sind natürlich bei weitem nicht so anspruchsvoll wie der Astronom auf seiner Sternwarte, dem seine Zahlenangaben nie genau genug sein können. Der Forschungsreisende, der sich unterwegs über die geographische Breite seines Standorts unterrichten will, hat höchstens ein kleines transportables Instrument zur Verfügung, ein sogenanntes *Universalinstrument*, mit dem er sowohl *Höhen* der Gestirne als auch *Azimute*, d. h. soviel wie Himmelsrichtungen, be-

stimmen kann, und zwar mit Genauigkeiten, die — je nach Güte des Instruments — zwischen zwei und zehn Bogensekunden liegen. Der Seemann kann auch diese Instrumente nicht verwenden, da sie eine feste Aufstellung beanspruchen, die ja das schwankende Schiff nicht zu bieten vermag. Der Seemann benutzt daher ein Instrument, das er in der Hand halten kann — den *Spiegelsextanten*. Durch ein System von Spiegeln ist es möglich, mit dem Sextanten zwei Blickziele (etwa zwei Sterne), die in verschiedenen Richtungen liegen,

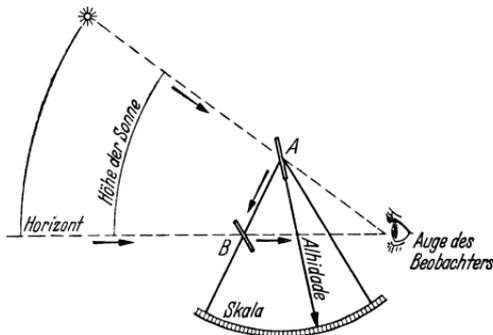


Abb. 25. Messung der Sonnenhöhe mit dem Sextanten. Der Sextant hat 2 Spiegel, einen festen (*B*) und einen beweglichen (*A*), der mit einem drehbaren Zeiger, der Alhidade, fest verbunden ist. Der Lichtstrahl von der Sonne wird zuerst an *A*, dann an *B* reflektiert und gelangt so zum Auge des Beobachters. Wenn die Alhidade um den richtigen Winkel (der auf der Skala abzulesen ist) gedreht wird, sieht der Beobachter das Bild der Sonne (gespiegelt) und den Horizont (direkt) in gleicher Richtung. Die Ablesung der Skala ergibt dann die Höhe der Sonne.

für das Auge zur Deckung zu bringen, indem man das Spiegelbild des einen Zieles durch geschickte Haltung des Instruments und Drehung eines beweglichen Spiegels mit dem zweiten, direkt anvisierten Objekt zusammenbringt (Abb. 25). Der Winkelabstand der beiden Objekte ist dann am Instrument unmittelbar abzulesen. Zur Bestimmung der geographischen Breite mittels des Sextanten beobachtet der Seemann fast ausschließlich die Sonne während ihres höchsten Standes am Mittag. Ihre Höhe bestimmt er, indem er im Blickfeld des Sextanten den Rand der Sonne mit der Horizontlinie, der „Kimm“, zur Deckung bringt, die ja auf dem Meere, wenn nicht gerade Nebel herrscht, immer scharf sichtbar ist. Da die

Entfernung der Sonne vom Himmelspol für jeden beliebigen Zeitpunkt in den „Nautischen Jahrbüchern“ des Seemanns aufgezeichnet ist, läßt sich aus der Messung der Mittagshöhe der Sonne durch eine äußerst einfache Rechnung die Breite ableiten (Abb. 26) — der Fehler einer Breitenbestimmung mit dem Sextanten wird im allgemeinen nur wenige Zehntel einer Bogenminute (Seemeile) betragen.

Größere Schwierigkeiten macht die Bestimmung der geographischen Länge, die neben der Breite zur vollständigen Beschreibung eines Standortes nötig ist.

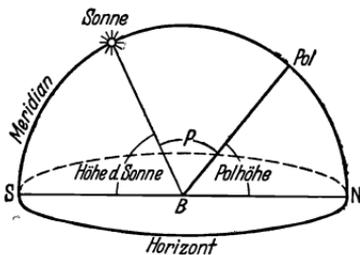


Abb. 26. So bestimmt der Seemann die Polhöhe: Er mißt die Höhe der Sonne über dem Meereshorizont am Mittag, wenn sie im Meridian ihren höchsten Stand erreicht. Die Polentfernung P der Sonne ist veränderlich, aber für jeden Zeitpunkt aus den Nautischen Jahrbüchern zu entnehmen. Die Polhöhe des Beobachtungsorts ist dann $= 180^\circ - P - \text{Sonnenhöhe}$.

Die Längenzählung dem Globus ein Aussehen verleiht, das dem einer Apfelsine nicht unähnlich ist, werden von einem Ausgangsmeridian aus nach Westen und Osten um den halben Erdkreis herumgezählt — jede Zählung reicht also bis 180° , da ein voller Kreis 360 Grade umfaßt. Als Nullmeridian wählt man heute allgemein den, der durch die Sternwarte in Greenwich (London) hindurchgeht — man unterscheidet also Längen östlich und westlich von Green-

wich. Daneben haben noch andere Längenzählungen bestanden, die sich zum Teil bis heute erhalten haben — so die Längenzählung nach dem Meridian von Paris, der an die Zeit erinnert, als die Franzosen auf dem Gebiet der Erdmessung führend waren, oder die nach dem Meridian von Ferro, der westlichsten der Kanarischen Inseln (Vorteil: alle Ortsangaben der Alten Welt erhalten östliche Länge), schließlich die Längenzählungen nach Berlin, Washington oder Tokio.

Die Schwierigkeit der Bestimmung der geographischen Länge beruht auf der eigentümlichen Art, in der die Länge sich in den Gestirnsbewegungen bemerkbar macht. Stellen wir uns vor, wir betrachteten die sich um ihre Achse drehende

Erde von einem festen Standpunkt im Weltraum. Von den Längenkreisen, die die Erdkugel überziehen, wollen wir uns jeden 15. ausgezogen denken, so daß also die Erde in 24 gleiche Sektoren (in Apfelsinenschnittenform) zerteilt erscheint. Zu Beginn unserer Beobachtung möge der Meridian von Greenwich gerade durch die Mitte der uns sichtbaren Erdscheibe gehen — im Verlauf einer Stunde wird sich infolge der Erddrehung das Bild so verschoben haben, daß an die Stelle dieses Meridians der nächste, nämlich der 15° westlich von Greenwich liegende, getreten ist. Versetzen wir uns nun in die Lage der Erdbewohner zurück, so heißt das: ein außerirdisches Objekt, etwa ein Stern oder die Sonne, das sich zu einer bestimmten Zeit im Meridian eines Ortes befand, wird eine Stunde später durch den Meridian derjenigen Orte gehen, deren Länge um 15° westlicher liegt. Auf dieser Tatsache beruht nun die astronomische Methode der Längenbestimmung: Wir beobachten die Zeiten des Meridiandurchgangs eines Gestirns an zwei Orten mit der gleichen Uhr (bzw. mit zwei Uhren, die genau miteinander verglichen werden). Die ermittelte Zeitdifferenz entspricht dem Unterschied der geographischen Längen, wobei 1 Stunde Zeit = 15° Länge zu setzen ist. Bei dieser Methode ist vorausgesetzt, daß das an beiden Orten beobachtete himmlische Objekt in der Zwischenzeit seine Stellung am Himmel nicht geändert hat — diese Schwierigkeit fällt bei einer zweiten Methode fort, die darin besteht, daß man das gleiche Ereignis am Himmel gleichzeitig an beiden Orten beobachtet und seine Eintrittszeit nach Ortszeit bestimmt. Vorausgesetzt, daß die beiden Uhren die Ortszeit ihres Standortes genau anzeigen, ergibt der Unterschied der beiden Eintrittszeiten des Himmelsereignisses den geographischen Längenunterschied, wobei wiederum 1 Stunde = 15° Länge zu setzen ist. Für die Anwendung dieser Methode brauchen wir demnach zweierlei: erstens nach Ortszeit gehende Uhren (wir wissen aus dem vorigen Kapitel, daß es durch die Beobachtung der Meridiandurchgänge der Sonne oder heller Fixsterne immer möglich ist, die Ortszeit zu bestimmen und den Uhrstand der benutzten Uhr zu ermitteln), zweitens ein von beiden Orten aus gleichzeitig sichtbares Ereignis, dessen zeitlicher Eintritt

natürlich scharf beobachtbar sein muß. Solche Himmelserscheinungen gibt es in der Tat, sie sind aber leider ziemlich selten, also keineswegs immer zur Hand, wenn man sie braucht. So eignen sich für diesen Zweck z. B. die Verfinsterungen der vier großen Monde des Jupiter, die auf ihrer Bahn um den Zentralkörper durch den Schatten des Planeten hindurchgehen. Mit kleinen Fernrohren kann man den Eintritt der Monde in den Jupiterschatten leicht verfolgen — der Zeitpunkt der Verfinsterung ist zwar nicht sehr scharf ausgeprägt, da die Verdunkelung nicht plötzlich erfolgt — immerhin läßt sich die Zeit auf die Minute genau angeben. Da in den astronomischen Jahrbüchern die Verfinsterungszeiten der Jupitermonde für Weltzeit, also für Ortszeit des Nullmeridians, angegeben sind, braucht ein Beobachter auf See oder in fernem Land nur die von ihm selbst festgestellte Ortszeit der Verfinsterung mit dem Jahrbuchwert zu vergleichen, um den Längenunterschied zwischen seinem Standort und dem Nullmeridian zu finden.

Wegen der Seltenheit dieser Ereignisse, die bestenfalls ein paarmal im Monat zu beobachten sind, auch wegen ihrer großen Ungenauigkeit, bevorzugt der Seemann auf seinen Fahrten andere Methoden. Es gibt einen Himmelskörper, dessen Bewegung unter den Fixsternen mit verhältnismäßig großer Schnelligkeit vor sich geht, und dessen jeweiliger Himmelsort daher als „Ereignis“ mit wohlbestimmter Eintrittszeit im obigen Sinne gelten kann. Dieser Himmelskörper ist unser *Mond*, der auf seiner Bahn um die Erde den Fixsternhimmel in etwa 27 Tagen einmal durchläuft. Die Geschwindigkeit, die dazu nötig ist, ist immerhin so groß, daß wir sie bei einiger Aufmerksamkeit und unter günstigen Umständen mit bloßem Auge feststellen können. Wenn der Mond sich nämlich auf seinem Wege einem sehr hellen Stern nähert, so kann man im Verlaufe einiger Stunden deutlich den Vorübergang des Mondes am Stern verfolgen. Die Bewegung des Mondes unter den Sternen erfolgt so rasch, daß sich der Mond in ungefähr einer Stunde um seinen eigenen Durchmesser weiterbewegt. Die Winkelentfernung des Mondes von helleren Fixsternen, die auf seinem Wege liegen, und die auch mit dem Sextanten gemessen werden kann, ist daher eine mit der

Zeit ziemlich rasch veränderliche Größe, die auch in den Nautischen Jahrbüchern vermerkt und nach Greenwicher Zeit angegeben wird. Wenn also der Seemann mit dem Sextanten die Entfernung zwischen Mond und Fixstern (richtiger gesagt: den Winkel zwischen den beiden Blickrichtungen nach dem Monde und nach dem Stern) bestimmt, so liest er in seinem Jahrbuch die dazugehörige Greenwicher Zeit ab. Er kann demnach sein Schiffschronometer, das auch nach Greenwicher Zeit gehen soll, durch Beobachtung von „Monddistanzen“ fortlaufend berichtigen. Die Schiffsuhr ist aber, wie wir nach dem bisher Gesagten ohne Schwierigkeit einsehen, das Hauptinstrument, das dem Seemann jederzeit die geographische Länge seines Schiffsorts zu bestimmen erlaubt. Die Ortszeit zu ermitteln, ist nicht schwierig — sie ist ja an den Horizont des Beobachtungsortes gebunden und läßt sich auf verschiedene Weise aus beobachteten Höhen von Sternen oder der Sonne ableiten —, in der Schiffsuhr aber führt der Seemann die Zeit des Nullmeridians, die Weltzeit, mit sich, aus deren Vergleich mit der Ortszeit immer die geographische Länge folgt. Die größte Sorge des Seefahrers ist es daher, daß seine Uhr möglichst richtig geht, und daß er ihren Gang unterwegs ständig unter Kontrolle hält.

Heute hat die astronomische Kontrolle der Schiffschronometer mit Hilfe der Beobachtung von Monddistanzen viel von ihrer Bedeutung eingebüßt. Noch vor wenigen Jahrzehnten stellte sie die wichtigste Methode der Uhrvergleichung auf hoher See dar — heutzutage wird den Schiffen auch in den entlegensten Gewässern die Normalzeit unvergleichlich genauer und bequemer durch die funkentelegraphischen Zeitzeichen übermittelt, die durch die großen Sendestationen aller Länder über den ganzen Erdball verbreitet werden. Während die Uhrvergleichung durch Monddistanzen die Zeit nur selten genauer als auf mehrere Zehntelminuten liefert, werden durch die drahtlosen Zeitsignale Bruchteile der Sekunde unbedingt gewährleistet. Von Deutschland aus werden solche Zeitzeichen zweimal täglich (um 1 Uhr und um 13 Uhr MEZ.) durch die Funkstation *Nauen* bei Berlin gesendet.

Die Ermittlung von geographischer Länge und Breite dient

dem Seefahrer und dem Forschungsreisenden zur Feststellung seines Standorts und kann, vorausgesetzt, daß die instrumentellen Hilfsmittel intakt sind, jederzeit erfolgen, wenn Himmelsbeobachtungen möglich sind. Diese Möglichkeit der Orientierung ist demnach stark von der Gunst des Wetters abhängig, und daher wäre namentlich der Seefahrer bei lang andauernder Bewölkung in einer sehr unangenehmen Lage, wenn er nicht auch andere Möglichkeiten zur Orientierung auf dem Meere hätte. Ein wesentlicher Bestandteil der Navigationskunst ist daher die beständige Beachtung der Fahrtrichtung (Kurs) und Fahrtgeschwindigkeit. Wenn zu irgendeiner Zeit der Schiffsort durch Himmelsbeobachtungen festgestellt und in die Seekarte eingetragen werden konnte, wird durch fortgesetzte Beobachtung von Kurs und Geschwindigkeit des Schiffes der weitere Verlauf der Reise verfolgt werden können, bis eine neue Ortsbestimmung möglich ist, durch die ein eventueller Fehler der eingetragenen Route wieder berichtigt wird.

Die Fahrtrichtung wird durch den *Kompaß* festgestellt. Er besteht, wie jeder weiß, aus einer Magnetnadel, durch die die Nord-Süd-Richtung angezeigt wird. Wir werden in einem späteren Kapitel sehen, daß dies nur bis zu einem gewissen Grade richtig ist, da die magnetischen Pole der Erde, nach denen die Magnetnadel sich einstellt, mit den geographischen Polen keineswegs zusammenfallen. Die *Mißweisung* des Kompasses ist aber für die meisten Gebiete der Erdoberfläche so genau bekannt, daß der Seemann sie berücksichtigen, d. h. die Angaben des Kompasses verbessern kann. Schwierig ist die Benutzung des Magnetkompasses nur in polaren Gegenden, in denen die magnetischen Verhältnisse örtlich und zeitlich stark veränderlich und überdies nur unvollständig erforscht sind. Auch für Kriegsschiffe, deren gewaltige Eisenmassen das magnetische Kraftfeld stören, ist die Brauchbarkeit der Magnetkompassse gering. Es ist daher für die Schifffahrt bedeutungsvoll, daß in Gestalt des *Kreiselkompasses* ein Gerät erfunden wurde, das die Nachteile der Magnetnadel vermeidet. Der *Kreiselkompaß*¹ besteht aus einem elektromotorisch angetrie-

¹ Abbildungen des Kreiselkompasses findet der Leser in Chant, „Die Wunder des Weltalls“, Abb. 13 und 14.

benen Kreisel von großer Masse und äußerst schneller Umdrehungszahl, dessen Umdrehungsachse infolge einer besonderen Montierung (der sogenannten kardanischen Aufhängung) frei beweglich ist. Wenn es also irgendwelche äußeren Kräfte gibt, die bestrebt sind, einen sich frei drehenden Kreisel in eine bestimmte Achsenlage zu zwingen, so wird das Instrument diesen Kräften nachgeben. Es läßt sich nun nachweisen, daß die tägliche Umdrehung der Erde die Wirkung hat, daß sich unser Kreisel nur dann im Gleichgewicht befindet, wenn seine Achse der Rotationsachse der Erde gleichgerichtet ist, also nach Norden zeigt. Der Kreiselkompaß wird demnach unter dem Einfluß der Erdrotation die Nord-Süd-Lage aufsuchen und sie beibehalten, solange die Kreiselbewegung anhält. Diese Eigenschaft des Kreiselkompasses, die ihn zu einem einwandfreien Instrument zur Bestimmung der Himmelsrichtung macht, ist auch ein weiterer Beweis physikalischer Natur für die Drehung der Erde.

Zur Bestimmung der *Geschwindigkeit* eines fahrenden Schiffes dient dem Seemann ein einfaches Instrument, das Logg (oder die Logge). Die einfachste Form des Loggs ist ein an einem langen Faden befestigtes Holzbrettchen, das am Heck des Schiffes ins Wasser geworfen wird, und das man so lange schwimmen läßt, bis der Faden straff gespannt ist. Die Zeit, die zwischen dem Abwurf des Loggs und dem Moment der Spannung der Leine verfließt, mißt man mit einer Stoppuhr — sie ist gleich der Zeit, in der sich das Schiff um die Länge der Leine fortbewegt hat. Gewöhnlich wird die hieraus zu berechnende Fahrtgeschwindigkeit des Schiffes nach „Knoten“, d. h. Seemeilen in der Stunde angegeben. Genauer arbeitet das *Patentlogg*, eine in einem Gehäuse eingeschlossene Flügelschraube, die sich in fließendem Wasser dreht, und aus deren Umdrehungszahl (die durch ein Zählwerk gemessen wird) die Fahrtgeschwindigkeit abgeleitet werden kann. Durch das „Loggen“ erfährt man die wahre Schiffsgeschwindigkeit natürlich nur, wenn man annehmen darf, daß das Wasser selbst in Ruhe ist. Das ist nun, wie man weiß, im allgemeinen nicht der Fall. Es gibt vielmehr sehr ausgeprägte *Meeresströmungen* — die bekannteste unter ihnen ist der so-

genannte *Golfstrom*, durch den das warme Wasser des Golfs von Mexiko durch den nördlichen Atlantischen Ozean an der norwegischen Küste vorüber bis ins Eismeer verfrachtet wird. Die Geschwindigkeiten dieser Meeresströmungen sind aber — wenigstens auf hoher See — ziemlich klein und verfälschen die gemessene Fahrtgeschwindigkeit eines Schiffes nur unbedeutend; in den Meeresgegenden, wo sie nach Größe und Richtung bekannt sind, lassen sie sich zudem bei der Auswertung der Loggmessung berücksichtigen.

Wir können diese Übersicht über die Fragen der Orientierung auf der Erdoberfläche nicht abschließen, ohne auch der dritten Dimension des Raumes Erwähnung zu tun: Wenn uns unser Reiseweg über Gebirgszüge führt, so interessiert uns auch, zu wissen, wie hoch über dem Meeresspiegel wir uns jeweils befinden. Zwar haben wir im zweiten Kapitel gehört, daß die Landmesser durch das *Nivellement* den Verlauf der Geoidfläche festgelegt und die Höhe der von ihnen vermessenen Geländepunkte über der Normalfläche bestimmt haben. Die Vermessung eines Landes nach diesen Gesichtspunkten erfordert aber eine sehr umständliche und zeitraubende Arbeit, mit der sich ein Forschungsreisender, der sich schnell über die Gestaltung einer unbekanntenen Gebirgslandschaft orientieren will, nicht aufhalten kann. Es ist daher wünschenswert, ein Mittel zu besitzen, mit dessen Hilfe man die Höhe eines Punktes (etwa eines Berggipfels) schnell, wenn auch mit einiger Ungenauigkeit, zu messen imstande ist. Noch notwendiger ist dies geworden, seit die Entwicklung der *Luftfahrt* die Bedürfnisse der Höhenmessung gesteigert hat: ein Flieger, der nachts oder im Nebel den Ozean überfliegt, muß in der Lage sein, die Höhe des Flugzeugs an seinen Instrumenten abzulesen, wenn er nicht ständig Gefahr laufen will, ins Meer zu stürzen.

Ein solches Mittel zur Bestimmung der Höhe ist das *Barometer*, jenes wohlbekannte Instrument, das zur Messung des *Luftdrucks* dient. Unter Luftdruck verstehen wir das Gewicht der über der Flächeneinheit des Untergrundes lastenden Luftsäule. Wir könnten den Luftdruck etwa in Kilogramm pro Quadratcentimeter ausdrücken, ziehen es aber

vor, anstatt dessen die Höhe einer Quecksilbersäule anzugeben, die den gleichen Querschnitt und das gleiche Gewicht besitzt wie die gedachte Luftsäule. Normalerweise übt das gesamte Luftmeer, das über der Meeresoberfläche lastet, den gleichen Druck auf die Unterlage aus, wie es ein Quecksilbermeer von 760 mm Höhe tun würde. Steigen wir nun auf einen Berg, so nimmt der Luftdruck ab, da ja die Luftschichten, die wir unter uns gelassen haben, keine Druckwirkung mehr ausüben. In den unteren Schichten der Atmosphäre kann man damit rechnen, daß die Abnahme des Luftdrucks mit der Höhe 1 mm auf 10 m Höhenunterschied beträgt — je weiter wir emporsteigen, um so langsamer erfolgt die Druckverminderung mit der Höhe, da die Luft immer dünner und dünner wird.

Der normale Luftdruck hat also eine ganz bestimmte Beziehung zur Höhe über dem Meeresspiegel, die wir benutzen können, um nach bestimmten Tabellen von dem gemessenen Luftdruck auf die Höhe des Standorts über dem Meeresniveau zu schließen. Wir dürfen aber dabei nicht vergessen, daß der Luftdruck starken Schwankungen ausgesetzt ist, die mit der Wetterlage zusammenhängen, und wenn wir uns auf die normalen Beziehungen zwischen Luftdruck und Höhe verlassen würden, könnte es vorkommen, daß die barometrisch bestimmte Höhe um mehrere hundert Meter von der wirklichen abweicht. Trotzdem leistet die „barometrische Höhenformel“ ausgezeichnete Dienste, wenn man sich darauf beschränkt, Höhenunterschiede zwischen zwei benachbarten Punkten rasch zu bestimmen, denn man kann annehmen, daß sich in der Zeit zwischen den beiden Messungen die allgemeinen Luftdruckverhältnisse nur wenig geändert haben. Es kommt dann nur darauf an, die Dichte der Luftschicht zwischen beiden Meßpunkten festzustellen, was durch gleichzeitige Messung ihrer Temperatur und ihres Feuchtigkeitsgehalts weitgehend möglich ist.

V. Die Erde wandert um die Sonne.

Mit der Bewegung unseres Planeten um sein Zentralgestirn, die Sonne, ist es ähnlich wie mit ihrer Achsendrehung: Sie kommt uns nicht unmittelbar zum Bewußtsein, und wenn unser Himmel ständig mit einer dichten Wolkendecke verhangen wäre, so würden wir schwerlich etwas von ihr wissen. Ja, selbst der geschickte Physiker, der durch seine Experimente die Rotation des Erdkörpers beweisen könnte, würde uns kaum davon zu überzeugen vermögen, daß die Erde um jene unsere Tage erhellende Lichtquelle eine kreisförmige Bahn von gewaltigem Durchmesser beschreibt. Unser Wissen um diese merkwürdige und geheimnisvolle Bewegung stützt sich ausschließlich auf das Gesamtbild von den Vorgängen im Weltall, das sich uns in jahrtausendelanger Forschung enthüllt hat — wir glauben an ihre Wirklichkeit, weil sie allein die Voraussetzung dafür ist, daß wir die komplizierten Bewegungen der Himmelskörper, die wir beobachten, durch ein einziges mechanisches Gesetz von unerhörter Größe und Einfachheit beschreiben und damit *verstehen* können.

Uns soll in diesem Kapitel weniger die astronomische Seite des Problems der Erdbewegung um die Sonne beschäftigen, als die Frage, in welcher Weise diese astronomische Tatsache das menschliche Leben und seine Einrichtungen berührt und beeinflusst. In dieser Hinsicht aber spielt lediglich die gegenseitige Stellung von Erde und Sonne und ihre im Laufe eines Jahres sich vollziehende periodische Änderung eine Rolle, während es belanglos ist, welchem von beiden Körpern wir die Stelle des ruhenden Zentrums und welchem wir die des beweglichen Trabanten zuschreiben. Diese Frage wird vielmehr erst später (im siebenten Kapitel) wieder Bedeutung gewinnen, wenn wir von den physikalischen Wechselbeziehungen zwischen Sonne und Erde sprechen, die neben der reinen Bewegung noch bestehen.

Die Bewegung der Erde um die Sonne (oder, wie die Alten es auffaßten, der Sonne um die Erde) ist angenähert kreisförmig und erfolgt in einer Ebene, die um etwa $23\frac{1}{2}^\circ$ gegen

die Ebene des Erdäquators geneigt ist. Bis auf geringfügige Schwankungen, die uns hier nicht interessieren, ist die Lage der Erdbahnebene im Raume unveränderlich. Von der Erde aus gesehen, wird die Sonne daher während eines Jahres (also während des Zeitraumes, in dem die Erde einen Umlauf um ihr Zentralgestirn vollendet) am Fixsternhimmel einen vollen Kreislauf vollführen, und sie wird in jedem neuen Jahr die gleiche Bahn beschreiben, durch die gleichen Sternbilder hindurchwandern. Diese scheinbare Sonnenbahn am Himmel (die den Alten noch eine wirkliche Bahn war) hat daher von jeher eine ganz besondere Bedeutung gehabt. Sie heißt seit alter Zeit „*Ekliptik*“, d. h. „*Finsternislinie*“, weil Sonnen- und Mondfinsternisse nur dann eintreten können, wenn der Mond auf seiner Bahn diese Linie schneidet. Die Sterndeuter des Altertums, denen wir die meisten noch heute gebräuchlichen Namen der Sterne und Sternbilder des Himmels verdanken, kannten zwölf Sternbilder, die rings um den Himmel herum in regelmäßigen Abständen die Ekliptik begleiteten; ihre Namen sind:

Widder, Stier, Zwillinge, Krebs, Löwe, Jungfrau,
 Waage, Skorpion, Schütze, Steinbock, Wassermann, Fische.

Sieben dieser Bilder haben also Tiernamen — der von ihnen überdeckte Himmelsstreifen, der nicht nur den Weg der Sonne, sondern auch die Bahnen des Mondes und der Planeten umschließt, wird daher *Zodiakus*, d. h. „*Tierkreis*“, genannt.

Infolge der Neigung der Ekliptik gegen den Himmelsäquator (der ja nichts anderes ist als der Schnitt der Ebene des Erdäquators mit dem Himmelsgewölbe) liegt die eine Hälfte des Tierkreises auf der nördlichen, die andere auf der südlichen Halbkugel des Himmels. Weilt die Sonne auf dem nördlichen Bogen ihrer Bahn, so ist bei uns im Norden Sommer (siehe Abb. 27) — die Sonne erreicht dann am Mittag große Höhen und bleibt den größten Teil des Tages über dem Horizont. Am Nordpol, wo der Himmelspol im Zenit steht, verweilt die Sonne während dieser Jahreszeit sogar ständig über dem Horizont. Im Winter ist es umgekehrt, wie die Abbildungen deutlich zeigen.

Alle diese Dinge sind dem Leser mehr oder weniger aus der Schule geläufig und sollen hier nur ins Gedächtnis zurückgerufen werden. Worauf es uns hier ankommt, ist die Grundtatsache, daß die Jahreswanderung der Sonne durch den Tierkreis, längs ihrer wohlbestimmten und unveränderlichen Bahn, der Ekliptik, den Lauf des *Jahres* und seine Einteilung bestimmt. Während die Sterne des Fixsternhimmels uns (nach den Ausführungen des dritten Kapitels) als die Zeiger einer großen Weltenuhr erscheinen, deren täglicher

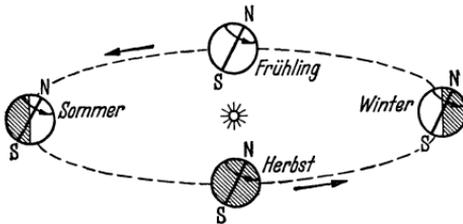


Abb. 27. Entstehung der Jahreszeiten infolge der Schiefstellung der Erdachse auf der Erdbahnebene. Die 4 Stellungen der Erde entsprechen den Anfängen der 4 Jahreszeiten für einen Punkt der Nordhalbkugel, dessen Bahn während der täglichen Erddrehung eingezeichnet ist. Im Sommer ist der Weg dieses Punktes durch die beleuchtete Erdhälfte größer als der durch die unbeluchtete (Tag länger als Nacht), im Winter ist es umgekehrt. Am Frühlings- und Herbstanfang sind Tag und Nacht gleich.

Umschwung uns die Bestimmung von Tag und Tageseinteilung ermöglichen, so ist die Sonne auf ihrer langsamen Wanderung durch die Sternbilder des Tierkreises gewissermaßen der *Datumszeiger* an dieser Himmelsuhr.

Die Vollendung eines Sonnenweges durch den Tierkreis liefert uns das *Jahr* als größere Zeiteinheit. Zwölf Sternbilder umsäumen diesen Sonnenweg durch die

Jahreszeiten — damit ist die Einteilung des Jahres in zwölf *Monate* verständlich. (Hier muß vermerkt werden, daß auch die Bewegung des Mondes bei der Entstehung der Monate mitgewirkt hat, denn der Mond durchläuft den Tierkreis in der Zeit von fast einem Monat. Auch der Name Monat ist von Mond abgeleitet.) Die *Länge* des Jahres ist die Zeit, die zwischen zwei aufeinanderfolgenden Durchgängen der Sonne durch einen charakteristischen Punkt der Ekliptik vergeht — man kann diesen Fixpunkt auf zwei Arten wählen und kommt auf diese Weise zu zwei verschiedenen Festsetzungen der Jahreslänge. Einmal kann man den Anfang des Jahres auf einen Zeitpunkt legen, an dem die Sonne an einem in der Ekliptik liegenden *Stern*

vorübergeht, der so weit entfernt sei, daß man seine Eigenbewegung im Raume nicht mehr wahrnehmen und daher praktisch gleich null setzen kann. Das so definierte Jahr entspricht der wahren Umlaufszeit der Erde um die Sonne in bezug auf den als ruhend angesehenen Fixsternraum und wird das *siderische Jahr* genannt.

Aber ebenso, wie die Umdrehungszeit der Erde in bezug auf den Sternenraum, der *Sterntag*, eine für das bürgerliche Leben unbrauchbare Zeiteinteilung darstellt, so ist auch das siderische Jahr mit den Forderungen, die wir Menschen an die Einrichtung unserer Zeitrechnung stellen müssen, nicht ganz in Einklang zu bringen. Unsere Forderung lautet, daß das Jahr uns in seinem Laufe den Wechsel von Frühling, Sommer, Herbst und Winter, die für das Menschenleben einschneidende Bedeutung haben, getreulich wiedergebe — so wie wir vom *Tage* fordern, daß seine Dauer sich dem Wechsel zwischen Licht und Finsternis anpasse. Das siderische Jahr würde nun diesen natürlichen Erfordernissen gerecht werden, wenn die gegenseitige Lage von Ekliptik und Himmelsäquator, durch die ja der Jahreszeitenwechsel bestimmt wird, unveränderlich wäre, d. h. wenn die Richtung der Rotationsachse der Erde ebenso, wie wir es oben von der Erdbahnebene behauptet haben, im Raume unveränderlich festläge. Daß dies nicht zutrifft, hat schon Hipparch, der große Astronom des Altertums, bemerkt. Er fand, daß zwar die Neigung zwischen Äquatorebene und Ekliptik immer durch den gleichen Winkel von $23\frac{1}{2}^{\circ}$ (den wir als „Schiefe der Ekliptik“ bezeichnen) gegeben sei, daß aber die *Schnittpunkte* dieser beiden himmlischen Kreise auf der unter den Sternen festliegenden Ekliptik langsam in westlicher Richtung weiterwandern. Heute wissen wir, daß die Punkte der Tag- und Nachtgleichen (Äquinoktien), wie wir diese Schnittstellen zwischen Ekliptik und Äquator nennen, in etwa 26000 Jahren einmal den Tierkreis durchwandern. Die Äquinoktien, in denen die Sonne auf ihrer jährlichen Wanderung den Himmelsäquator schneidet, kennzeichnen für uns den kalendermäßigen Beginn von Frühling und Herbst (Frühlings- und Herbst-Tagundnachtgleiche), sie sind also wichtige Marksteine am Sonnen-

weg, die eine enge Beziehung zum Wechsel der Jahreszeiten haben. Infolgedessen ist die Jahreslänge, die für unsere Zeitrechnung allein geeignet ist, die Zeitspanne, die zwischen zwei aufeinanderfolgenden Durchgängen der Sonne durch einen dieser beiden ausgezeichneten Punkte der Ekliptik liegt, also etwa die Zeitspanne zwischen einem Frühlingsanfang und dem nächsten. Wir nennen diesen Zeitraum ein *tropisches Jahr*, er ist etwas kürzer als das siderische Jahr, da der Punkt des Frühlingsäquinoktiums (kurz Frühlingspunkt genannt) der nach Osten wandernden Sonne entgegenght. Der Zeitunterschied zwischen tropischem und siderischem Jahr beträgt 20 Min. und 23 Sek. In einem Zyklus von etwa 26 000 Jahren ist somit die Zahl der tropischen Jahre um eins größer als die der siderischen Jahre. In geschichtlicher Zeit hat sich dieser merkwürdige Vorgang, den man auch die *Präzession* der Tagundnachtgleichen nennt, dahin ausgewirkt, daß der Frühlingspunkt etwa alle 2000 Jahre in ein anderes Bild des Tierkreises übertritt — während er sich zur Zeit der ägyptischen Pharaonen im Stier befand, wanderte er während des griechisch-römischen Altertums durch den Widder und befindet sich heute in den Fischen — im Laufe der nächsten Jahrhunderte wird er schon in den Wassermann hinübergewechselt sein.

Für die Länge des tropischen Jahres, das somit für unsere Zeitrechnung eine maßgebliche Einheit darstellt, liefert uns die astronomische Wissenschaft den Wert von

365,24220 mittl. Sonnentagen = 365 Tagen 5 Std. 48 Min. 46 Sek.

Bei den Kulturvölkern des frühen Altertums stützt sich die Einrichtung des *Kalenders*, durch den Zählung und Einteilung der Jahre festgelegt werden, nicht allein auf die Sonnenbewegung, sondern in mehr oder weniger ausgeprägtem Maße auch auf den Lauf des *Mondes*. Davon soll im nächsten Kapitel noch kurz die Rede sein. Nur die *Ägypter* hatten ein reines Sonnenjahr, dessen Länge sie zu 365 Tagen ansetzten. Da diese Zeitspanne um etwa einen Vierteltag zu kurz ist, fiel der Jahresanfang im Laufe der Jahrhunderte auf ein immer früheres Datum — man rechnet leicht aus, daß die Wande-

rung des Jahresanfangs in etwa 1360 Jahren einen Kreislauf durch alle Jahreszeiten vollendet haben mußte. Die Ägypter haben diese Erscheinung natürlich im Laufe ihrer mehrtausendjährigen Geschichte kennengelernt; sie nannten den 1360jährigen Zyklus die *Sothisperiode*, nach dem hellen Fixstern Sirius, den sie Sothis nannten, und dessen Wiedererscheinen am Morgenhimmel (im Hochsommer) ihnen den Beginn der für ihre Landwirtschaft so wichtigen jährlichen Nilüberschwemmungen ankündigte. Das Jahr wurde in 12 Monate zu je 30 Tagen eingeteilt, dazu kamen 5 Zusatztage, die dem letzten Monat angehängt wurden und wohl als Festtage gefeiert wurden. Seit 238 v. Chr. ging man dazu über, jedem vierten Jahre einen 366. Tag als „Schalttag“ hinzuzufügen, wodurch die Jahreslänge auf durchschnittlich $365\frac{1}{4}$ Tag verlängert und somit in eine bessere Übereinstimmung mit dem tropischen Jahre gebracht wurde. Diese Schaltjahrrechnung bürgerte sich jedoch nicht recht ein und wurde erst im Jahre 46 v. Chr. von Julius Cäsar, der sie auf seinem Eroberungszuge nach Ägypten kennenlernte, zur Verbesserung des damals dringend reformbedürftigen römischen Kalenders übernommen.

Im alten Rom war die Zeitrechnung auf ein sonderbares Gemisch von Mond- und Sonnenjahren gegründet. Von dem Prinzip der Schaltung machten die Römer frühzeitig Gebrauch — sie schalteten nicht nur einzelne Tage, sondern nach Bedarf auch ganze Monate ein und aus, wenn der Fehler der Zeitrechnung so hoch angelaufen war, daß eine Regulierung des Jahresbeginns nötig wurde. Der römische Kalender ist für uns deshalb so interessant, weil viele seiner Einrichtungen sich bis auf den heutigen Tag erhalten haben, und einige sonst nicht verständliche Einzelheiten des modernen Kalenders reichen bis auf jene etwas verworrenen Zeitrechnungsverhältnisse im alten Rom zurück, die Voltaire einmal in seiner spöttischen Art mit dem Ausspruch kennzeichnete: „Die römischen Feldherren feierten dauernd Triumphe, aber sie wußten nie, wann sie triumphierten.“ So ist z. B. die völlig unastronomische Festsetzung des Jahresanfangs auf den 1. Januar zu erklären: Ursprünglich ließen die Römer das

Jahr ganz folgerichtig mit den „Iden des März“ (15. März) beginnen, die mit dem Frühlingsanfang (Durchgang der Sonne durch den Frühlingspunkt am 21. März) nahezu übereinstimmten. Der März war also der erste Monat des römischen Kalenders — daß man als Jahresanfang nicht den Anfang, sondern die *Mitte* des Monats wählte, ist eine römische Eigenart. Neben dem Kalenderjahr hatten die Römer noch ein *Amts*jahr, das mit dem Amtsantritt der Konsuln am 1. Januar begann. Cäsar verlegte im Zuge seiner Kalenderreform dann auch den Beginn des bürgerlichen Jahres auf dies Datum.

Auch die Namen und die Längen der Monate, die heute noch gültig sind, haben wir von den Römern übernommen. Die Namen Januar bis Juni sind verschiedenen römischen Gottheiten gewidmet, Juli und August dem Julius Cäsar und seinem Nachfolger Augustus zu Ehren, während die Namen September bis Dezember aus den römischen Zahlworten (septem = 7, octo = 8, novem = 9, decem = 10) abgeleitet sind — in der Zuordnung dieser Zahlen erkennen wir noch deutlich, daß ursprünglich nicht der Januar, sondern der *März* der erste Monat im Jahre gewesen ist. Auch daß der Februar bei der Verteilung der Tage des Jahres auf die einzelnen Monate etwas zu kurz gekommen ist, hängt damit zusammen, daß er der letzte Monat war. Die endgültige Festsetzung der Monatslängen, die wir heute noch (so unpraktisch sie auch sind) verwenden, stammt ebenfalls von Cäsar, der bei seinem Kalenderwerk durch den alexandrinischen Gelehrten Sosigenes unterstützt wurde.

Die Julianische Kalenderreform, wie man sie nach ihrem Urheber nannte, blieb durch das ganze Mittelalter hindurch maßgebend, da sie auch von der christlichen Kirche angenommen und lediglich durch die kalendermäßige Einordnung der christlichen Feste (auf dem Konzil zu Nizäa im Jahre 325) vervollständigt wurde. Die Länge des Julianischen Jahres unterschied sich von der wirklichen nur um etwa 11 Minuten — der Fehler der Zeitrechnung konnte also erst in Jahrhunderten so stark anwachsen, daß eine merkliche Verlagerung der astronomischen Zeitmarken des Jahreslaufs

eintrat. Im 16. Jahrhundert hatte sich der Fehler des Kalenders auf 10 Tage aufsummiert und war von den Astronomen natürlich nicht unbemerkt geblieben. Der Durchgang der Sonne durch den Frühlingspunkt fand nicht mehr am 21., sondern bereits am 11. März statt. Um den Kalender wieder in Ordnung zu bringen, berief der Papst Gregor XIII. 1576 eine Kommission zu einer neuen Kalenderreform ein, die nach langen Beratungen im Jahre 1582 abgeschlossen wurde und als *Gregorianische Reform* bekannt ist. Zunächst wurde der entstandene Fehler von 10 Tagen dadurch ausgemerzt, daß auf den 4. Oktober 1582 gleich der 15. Oktober folgte. Da das Julianische Jahr ferner etwas zu lang war, mußte von Zeit zu Zeit ein Tag fortgelassen werden. Während im Julianischen Kalender jedes vierte Jahr (Jahreszahl durch vier teilbar) ein Schaltjahr war, in dem der Februar 29 statt 28 Tage zählte, wurde nun bestimmt, daß alle hundert Jahre (z. B. 1700, 1800, 1900) der Schalttag ausfallen sollte; dadurch wurde das Jahr von 365,25 auf 365,24 Tage gebracht, es war also nunmehr wieder etwas zu kurz. Um auch diesen Fehler noch weitgehend auszuschalten, mußte es wieder verlängert werden, was durch die Bestimmung geschah, daß jede vierte Jahrhundertwende (1600, 2000, 2400) der Schalttag bestehen bleiben sollte. Dadurch erhält das Gregorianische Jahr eine Länge von

365,2425 mittl. Sonnentagen = 365 Tagen 5 Std. 49 Min. 12 Sek.,

die von der wahren Länge des tropischen Jahres nur um 26 Sekunden verschieden ist, ein Betrag, der erst in über 3000 Jahren zu einem Fehler von einem Tage anwachsen wird.

Die Gregorianische Kalenderreform hat sich nicht gleich überall durchgesetzt — sie wurde in den protestantischen Ländern nach und nach übernommen, während die in Osteuropa maßgebende griechisch-orthodoxe Kirche sich erst in jüngster Zeit entschlossen hat, den Julianischen Kalender aufzugeben, dessen Abweichung gegenüber dem Gregorianischen inzwischen auf 13 Tage gestiegen war. Nach dem Weltkriege ist in den meisten osteuropäischen Ländern die Einführung eines

Kalenders beschlossen worden, der sich dem Gregorianischen weitgehend anpaßt, dessen Jahreslänge aber noch etwas genauer ist: In ihm werden alle diejenigen Jahrhundertwenden als Schaltjahre belassen, deren Jahrhundertzahlen, durch 9 dividiert, die Reste 2 oder 6 lassen (z. B. 2000, 2400, 2900, 3300 usw.). Dadurch wird die Jahreslänge mit 365,24222 Tagen bis auf nicht ganz 2 Sekunden mit dem tropischen Jahr in Übereinstimmung gebracht — eine Verschiebung zwischen der Gregorianischen und dieser Zeitrechnung wird vor dem Jahre 2800 nicht eintreten.

Was somit die Dauer des Jahres anbelangt, so ist in absehbarer Zeit nicht zu befürchten, daß der Kalender wieder in Unordnung kommen kann — wenn heute trotzdem die Frage einer abermaligen Reform unserer Zeitrechnung in weiten Kreisen besprochen wird, so bezieht sie sich hauptsächlich auf eine vernünftiger Einteilung des Jahres in Monate und auf die Festlegung der beweglichen christlichen Feste. Von der großen Zahl mehr oder minder geistreicher Vorschläge, die in dieser Richtung gemacht worden sind, will ich nur einen nennen: Nach ihm haben die Monate Januar, April, Juli und Oktober, die Anfangsmonate der vier Quartale, je 31 Tage, die übrigen je 30 Tage. Damit hätte jedes Quartal genau 91 Tage = 13 Wochen, das Jahr aber nur 364 Tage. Es ist also in jedem Jahr am Ende des ersten Halbjahres (nach dem 30. Juni) ein Tag einzuschalten, der ohne Datums- und Wochenbezeichnung bleibt; in Schaltjahren auch am Ende des zweiten Halbjahres. Jedes Vierteljahr beginnt in diesem Kalender mit einem Sonntag, und jeder Tag des Jahres fällt stets auf den gleichen Wochentag. Das Osterfest wird ein für allemal auf den 1. April (nach anderen Vorschlägen auf den 8. April) festgesetzt.

Das größte Hindernis gegen die Einführung einer derartigen Kalenderreform besteht in der Herstellung einer Einigkeit zwischen den verschiedenen Nationen des Erdballs, der Überwindung konfessioneller Sonderwünsche und nicht zuletzt in der jahrtausendelangen Gewöhnung, die uns unseren Kalender trotz seiner Unvollkommenheiten lieb und wert gemacht hat. Wenn es auch gewisse Vorteile haben würde,

daß jedes Datum seinen Wochentag hätte, und daß das Osterfest nicht mehr wie bisher auf den ersten Sonntag nach dem ersten Frühlingsvollmond fällt, sondern Jahr für Jahr am gleichen Tage gefeiert wird, so werden doch viele Menschen, die weniger nüchtern und praktisch denken, die abwechslungsreichere Gestaltung unseres guten, alten Kalenders nicht missen wollen.

Gegen die Festlegung der Wochentage im Jahreslauf ist darüber hinaus noch ein weiteres Bedenken zu äußern: sie würde die seit alter Zeit herrschende Begriffsbildung der *Woche* auflockern. Wir kommen damit auf eine Zeiteinheit, die in bezug auf ihre Länge zwischen Tag und Monat steht und dem Lauf des menschlichen Lebens und dem Fortgang der menschlichen Arbeit durch die Einschaltung von Ruhetagen in regelmäßiger Folge einen gewissen Rhythmus verleiht. Eine astronomische Beziehung zur Woche könnten wir insofern herzustellen suchen, als die Woche ungefähr der Zeit des Mondwechsels (von Viertel zu Viertel) entspricht. Mehr noch sind es wohl Gedankengänge astrologischer Art, die zu der siebentägigen Woche geführt haben: die Sieben war den Alten eine heilige Zahl, weil sieben die Zahl der Planeten ist, die sie kannten, und zu denen sie auch Sonne und Mond rechneten. So ist auch jeder Tag der Woche einem dieser Planeten geweiht — wir brauchen nur die Namen unserer Wochentage zu betrachten, um diese Beziehung festzustellen: Der Sonntag ist der Sonne geweiht, der Montag dem Monde, Dienstag (französisch *mardi*) dem Mars, der in der germanischen Götterwelt dem Ziu oder Tiu entspricht (Dienstag = Tiustag, englisch *Tuesday*). Mittwoch ist im Deutschen ein neutraler Name, der französische Name „*mercredi*“ erinnert an Merkur, der englische „*Wednesday*“ an Wodan. Donnerstag (englisch *Thursday*, französisch *jeudi*) enthält die Namen Donar (Thor) und Jupiter, Freitag (französisch *vendredi*) die Liebesgöttinnen Freia und Venus; der Sonnabend (englisch *Saturday*) ist dem Saturn geweiht. Wir finden also in den Wochennamen, besonders in denen romanischen Ursprungs, die Namen der gleichen Gottheiten wieder, die auch bei der Namengebung der sieben „Planeten“

Pate gestanden haben. Übrigens ist auch die Reihenfolge, in der die Wochentage nach den Planeten benannt worden sind, nicht willkürlich, sondern nach einem besonderen Gesetz angeordnet, das aus Abb. 28 ersichtlich ist. Teilt man einen Kreis in sieben Teile und schreibt jedem Teilpunkte in bestimmtem Umlaufssinn die Planetennamen in derjenigen Reihenfolge zu, die durch ihre Umlaufszeiten durch den

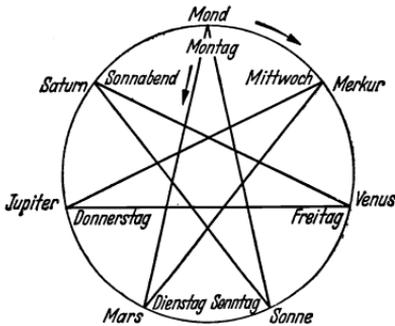


Abb. 28. Zusammenhang zwischen der Reihenfolge der Planeten (einschließlich Sonne und Mond) und der der ihnen zugeordneten Wochentage. Die Planeten sind auf der Peripherie in Uhrzeigerichtung nach ihrer scheinbaren Umlaufszeit geordnet aufgereiht (Mond bis Saturn). Verbindet man die zugehörigen Wochentage in ihrer Reihenfolge durch gerade Linien, so ergibt sich das Hebdogramm.

Tierkreis bestimmt ist (der Mond hat die geringste Umlaufszeit, dann folgen Merkur, Venus, Sonne, Mars, Jupiter, Saturn), und verbindet nun diese Punkte durch gerade Linien in der Reihenfolge, die durch die ihnen zugeordneten Wochentage gegeben ist, so entsteht ein regelmäßiger siebenstrahliger Stern, der den Sterndeutern des Altertums als „Hebdogramm“ ein heiliges Symbol war.

Der Ursprung der Woche ist nicht mit Sicherheit nachzuweisen — bei vielen Völkern des Altertums kamen

„Wochen“ von fünf, acht oder zehn Tagen neben der sieben-tägigen Woche vor, die bei den Babyloniern von einer gewissen Zeit ab auftaucht, aber wahrscheinlich von fremder Seite dort eingeführt wurde. Die Wocheneinteilung der Zeit, die in der Aneinanderreihung von genau gleichen Zeitabschnitten besteht, macht die Woche als Maßeinheit für Zeitmessungen in mancher Hinsicht geeigneter als den Monat und das Jahr. Monat und Jahr sind ungleichförmige Zählmaße: aus der Angabe, daß 10 Jahre seit einem Ereignis verfließen sind, oder daß irgendein Vorgang sieben Monate gedauert habe, können wir die Dauer der so beschriebenen Zeiträume nicht *genau* in Tage umrechnen, da wir im ersten Falle nicht

wissen, ob 1, 2 oder 3 Schaltjahre zu zählen sind, im zweiten Falle, wieviel Tage zu 28, 29, 30 oder 31 Tagen wir zu rechnen haben. Der *Astronom*, der für viele Zwecke genaue Angaben über die Länge von Zeitabschnitten braucht, verwendet daher seit langer Zeit neben dem bürgerlichen Kalender für manche Arten von Zeitangaben auch eine fortlaufende Zählung der Tage, von einem bestimmten vorgeschichtlichen Datum ab, dem 1. Januar 4713 v. Chr. Nach dieser Zählung der sogenannten „Julianischen Tage“ bekommt jeder Tag seine fortlaufende Nummer — der 1. Januar 1940 führt in diesem Kalender die Nummer 2 429 630. Ist also das Julianische Datum irgend zweier weit auseinander liegender Tage gegeben, so gibt die Differenz sofort die verflossene Zeit in Tagen an, während man aus den bürgerlichen Daten die Zwischenzeit nur mühsam ermitteln könnte, da man Schaltjahre und Monatslängen genau berücksichtigen müßte. Das Julianische Datum hat ferner die Eigenschaft, daß es den Wochentag eines Datums enthält: Teilt man das Julianische Datum durch 7, so ist der Tag ein Montag, wenn die Division aufgeht, ein Dienstag, wenn sie den Rest 1 ergibt usw. Der 1. Januar 1940 ist nach dieser Regel ein Montag. Wenn mit einer neuen Kalenderreform Schalttage ohne Wochentagsbezeichnung eingeführt würden, die Woche also ihrer Eigenschaft als eines durchgehenden Zählmaßes entkleidet würde, so verlöre diese bequeme Regel natürlich ihre Gültigkeit, wäre aber andererseits auch überflüssig geworden.

Bevor wir das Thema der Kalenderreform verlassen, müssen wir noch erwähnen, daß auch an eine Verlegung des *Jahresanfangs* in manchen Vorschlägen gedacht worden ist; meist wird, und nicht mit Unrecht, der Tag des Frühlingsäquinoktiums, der 21. März, als der in astronomischer Hinsicht sinnvollste Termin des Jahreswechsels bezeichnet — seine Einführung hätte auch den Vorteil, daß dann die Einrichtung eines besonderen „Rechnungsjahrs“ und „Schuljahrs“, das mit dem 1. April beginnt, überflüssig würde, da sich beide Jahresanfänge nur noch um wenige Tage unterscheiden würden.

Wir haben nun das *Jahr* als eine naturgegebene Zeiteinheit

kennengelernt, die neben dem *Tag* allen menschlichen Zeiteinteilungsversuchen zugrunde liegt. Es dient, im Gegensatz zum *Tage*, der Messung von Zeiträumen geschichtlichen Ausmaßes. Die Schwierigkeiten, die bei seiner Bestimmung und Einteilung auftreten, liegen, wie wir gesehen haben, darin, daß seine Länge zu der des *Tages* in keinem ganzzahligen Verhältnis steht. Es ist somit eigentlich nicht richtig, daß wir den *Jahresanfang* am 1. Januar um 0 Uhr zu feiern pflegen (ganz abgesehen davon, daß dieser Zeitpunkt wegen der Verschiedenheit der konventionellen Uhrzeiten in verschiedenen Ländern keineswegs einheitlich ist). Die Astronomen, die sich bei ihren Zeitangaben nicht damit zufrieden geben dürfen, daß ihr „Jahr“ mitunter 365, ein andermal 366 Tage hat, haben sich daher eine andere „Neujahrsstunde“ gemacht, die nicht nur auf der ganzen Erde gleichzeitig gilt, sondern auch den Vorteil hat, daß zwischen ihr und der darauffolgenden immer genau ein tropisches Jahr liegt. Sie ist im wesentlichen durch den Zeitpunkt gekennzeichnet, in dem die Sonne auf ihrer Bahn längs der (vom Frühlingspunkt ausgehend in 360 Grade eingeteilten) Ekliptik den 280. Grad durchschreitet — dieser Zeitpunkt fällt stets nahezu mit dem Beginn des bürgerlichen Jahres zusammen.

VI. Erde und Mond — ein Doppelgestirn.

Wenn wir die Erde von einem außerirdischen Standpunkt aus auf ihrer jährlichen Reise um die Sonne beobachten könnten, so würden wir entdecken, daß sie nicht allein reist, sondern von einem kleineren Gestirn ständig begleitet und umkreist wird — das ist unser *Mond*, der treue Freund unserer Nächte, von allen Körpern des Himmels derjenige, der uns bei weitem am nächsten steht, den wir deshalb besonders gut kennen, und dessen nachbarliche Beziehungen zu unserem Planeten eng und vielgestaltig sind. Wir können an ihm nicht vorbeisehen, wenn wir die planetaren Eigenschaften der Erde und ihre Auswirkungen auf das Leben ihrer Bewohner beschreiben wollen.

Verglichen mit den Abmessungen des Erdkörpers selbst ist die Entfernung des Mondes von der Erde nicht gar so groß — sie beträgt im Durchschnitt 384 000 km, das ist also rund das $9\frac{1}{2}$ fache des Erdumfangs oder nicht ganz das 30fache des Erddurchmessers. Mancher Seemann oder Flieger hat auf seinen Reisen insgesamt schon größere Strecken zurückgelegt. Wie eng Erde und Mond auf ihrer gemeinsamen Bahn um die Sonne zusammengehören, überlegt man sich am besten, wenn man die Entfernung Erde—Mond mit der Entfernung Erde—Sonne vergleicht: die letztere ist nahezu 400mal so groß wie die erstere.

Über die Entfernung des Mondes wußte man schon im Altertum ziemlich gut Bescheid; schon Aristarch hat sie auf Grund einer richtigen geometrischen Methode bestimmt, allerdings, da seine Beobachtungsgrundlagen falsch waren, einen viel zu kleinen Wert herausbekommen. Auch die Entfernung der Sonne erhält Aristarch aus ähnlichen Berechnungen viel zu klein — er nimmt an, daß sie 18- bis 20mal so weit entfernt sei wie der Mond. Hipparch verbessert die Methode und findet als Mondentfernung den sehr nahe richtigen Wert von 59 Erdradien — eine Verbesserung der Vorstellungen über die Entfernung der Sonne gelingt dagegen im Altertum noch nicht.

An Durchmesser ist im System Erde—Mond die Erde ihrem Trabanten um ungefähr das $3\frac{1}{2}$ fache überlegen — an Masse um etwa das 80fache. Die Stellung der Erde in diesem „Doppelsternsystem“ ist also die herrschende und zentrale. Nach Newtons Gravitationsgesetz kann man sich die gegenseitige Bewegung der drei Körper Sonne—Erde—Mond so vorstellen, daß Erde und Mond um ihren gemeinsamen *Schwerpunkt* kreisen — dieser Schwerpunkt, nicht etwa die Erde selbst, ist es, der in einer Keplerschen Ellipse um die Sonne läuft. Da aber die Masse der Erde 80mal so groß ist wie die des Mondes, die Entfernung Erde—Mond aber nur 60 Erdhalbmesser beträgt, so kann man sich nach dem Gesetz der Waage leicht ausrechnen, daß der Massenschwerpunkt Erde—Mond vom Erdmittelpunkt nur $\frac{3}{4}$ Erdhalbmesser entfernt sein kann, also noch innerhalb des Erdkörpers selbst liegt.

Die Bahnbewegung des Mondes um die Erde geschieht in einer Ebene, die gegen die Ebene der Erdbahn um die Sonne, die Ekliptikebene, nur wenig, nämlich rund 5° , geneigt ist. Der Mond durchläuft daher — ebenso wie die Sonne auf ihrem scheinbaren Jahreslauf — die Sternbilder des Tierkreises und entfernt sich von dem Sonnenweg, der Ekliptik, niemals mehr als 5° , d. h. um etwa das 10fache seines Durchmessers, der uns unter einem Winkel von $\frac{1}{2}^\circ$ erscheint. Diese Bahn, die innerhalb der Tierkreiszone liegt, umschreibt der Mond in etwa $27\frac{1}{3}$ Tagen — wir können diese Zeit dadurch bestimmen, daß wir die Zeitspanne zwischen zwei aufeinanderfolgenden Vorübergängen des Mondes an irgendeinem Fixstern messen. Wir nennen sie den *siderischen Monat*, sie entspricht dem siderischen Jahr bei der Sonne. Für unser Verhältnis zum Monde ist aber wiederum die siderische Umlaufszeit von sehr geringer Bedeutung, sie ist, wie der Sterntag und das siderische Jahr, eine Größe, die nur die astronomische Wissenschaft interessiert. Weit eindrucksvoller als die Wiederkehr des Mondes zu irgendeinem Stern, der an seinem Himmelswege steht, ist für uns seine Wiederkehr zur Sonne, der er auf seinem schnellen Lauf durch den Tierkreis natürlich alle Monate einmal begegnen muß; durch die Stellung des Mondes zur Sonne werden nicht nur seine Auf- und Untergangszeiten, sein Erscheinen also im Laufe der Tageszeiten, sondern auch die Art der *Beleuchtung* bestimmt, die die dunkle Mondkugel durch die Sonne erfährt, und durch die ihr die bekannten Phasengestalten (Sichelform, erstes oder letztes Viertel, Vollmond) verliehen werden. So begannen denn auch die alten Völker, die ihre Zeit oft lieber nach dem Mond als nach der Sonne einteilten, den neuen *Monat* dann, wenn die Begegnung zwischen den beiden großen Himmelslichtern vorüber war, und die schmale Sichel des neuen Mondes (daher Neumond!) in der Abenddämmerung am westlichen Horizonte sichtbar wurde. Die Zeit zwischen zwei Neumonden muß etwas größer sein als ein siderischer Monat. Denn Sonne und Mond durchwandern den Tierkreis in der gleichen (östlichen) Richtung. Angenommen nun, Sonne und Mond träfen sich einmal bei irgendeinem Stern.

Nach einem siderischen Monat wird der Mond wieder bei diesem Stern angelangt sein, die Sonne ist aber inzwischen ein gutes Stück auf ihrer Bahn weitergewandert, und der Mond muß noch ein paar Tage zugeben, ehe er sie wieder einholt. Die durchschnittliche Zeit von einem Neumond zum nächsten heißt der „*synodische*“ *Monat*, seine Länge ist ziemlich genau $29\frac{1}{2}$ Tage, also nur wenig kürzer als der zwölfte Teil des Jahres, den der Kalender als „Monat“ mit nur angenäherter Berechtigung benutzt. Verschiedene alte Völker, z. B. die Babylonier, paßten ihre Monate streng dem Wechsel der Mondphasen an, deren Eintritt sie durch Beobachtung zu ermitteln pflegten. Auch die Araber hatten ein aus echten synodischen Monaten zusammengesetztes Jahr — der mohammedanische Kalender zählt das Jahr noch heute zu 12 Monaten von abwechselnd 29 und 30 Tagen, das Jahr also zu 354 Tagen, die in passenden Abständen um Schalttage verlängert werden. Das mohammedanische Jahr ist demnach ein reines Mondjahr, dessen Länge gegenüber dem Sonnenjahr um 11 Tage zu kurz ist, dessen Beginn also ziemlich rasch durch alle Jahreszeiten läuft.

Die Griechen und Römer hatten (vor der Julianischen Kalenderreform) ebenfalls ein Mondjahr, das aber dadurch an das Sonnenjahr gebunden wurde, daß in geeigneten Abständen *Schaltmonate* eingefügt wurden, um den Jahresanfang wieder den Jahreszeiten anzupassen. Seit 432 v. Chr. wurde in Griechenland der *Metonsche Zyklus* der Schaltung benutzt, der von der Tatsache ausging, daß 19 Sonnenjahre bis auf eine geringe Abweichung gleich 235 synodischen Monaten zu setzen sind — auf diesen Zeitraum sind, da $235 = 19 \times 12 \pm 7$, 7 Schaltjahre zu 13 Monaten zu verteilen. Die schon im vorigen Kapitel erwähnte Kalenderverwirrung im alten Rom, der erst Cäsar ein Ende machte, war hauptsächlich darauf zurückzuführen, daß hier nicht so strenge Schaltvorschriften bestanden, und die Einfügung von Schaltmonaten vielfach der Willkür der Behörden oder der Priester überlassen blieb.

Seit Julius Cäsar wurde dann, wie wir gesehen haben, die Anlehnung des Kalenders an den wahren Mondlauf ganz

verlassen. Die einzige Beziehung, die unser heutiger Kalender noch zum Wandel und Gestaltwechsel unseres Trabanten aufweist, ist das *Osterfest*, das — wie im vorigen Kapitel erwähnt — schon in frühchristlicher Zeit auf den ersten Sonntag nach dem ersten Frühlingsvollmond verlegt wurde. Da der wahre Mondlauf außerordentlich kompliziert ist, werden bei der Berechnung des Osterfestes etwas vereinfachte Annahmen gemacht. Das Datum des Osterfestes läßt sich dann sehr leicht nach einer von dem berühmten Mathematiker Gauß angegebenen Formel ermitteln, die hier ohne Beweis angegeben sei: Man teile die Jahreszahl nacheinander durch 19, 4 und 7 und bezeichne die bei der Teilung verbleibenden Reste nacheinander mit a , b und c . Ferner seien x und y zwei Zahlen, die (im Gregorianischen Kalender) für jedes Jahrhundert gegeben seien, und zwar sei

$$\begin{aligned} \text{für } 1583-1699 : x &= 22; y = 2 \\ \text{für } 1700-1799 : x &= 23; y = 3 \\ \text{für } 1800-1899 : x &= 23; y = 4 \\ \text{für } 1900-2099 : x &= 24; y = 5. \end{aligned}$$

Bezeichnet man dann noch mit d den Teilungsrest von $(19a + x) : 30$, mit e den Teilungsrest von $(2b + 4c + 6d + y) : 7$, dann fällt Ostern auf den $(22 + d + e)$ -ten März, wobei man natürlich zu beachten hat, daß der 32. März gleich dem 1. April zu setzen ist usw. Für das Jahr 1940 erhalten wir das Osterdatum durch folgende Rechnung:

$$\begin{aligned} 1940 : 19 &= 102, \text{ Rest } a = 2 \\ 1940 : 4 &= 485, \text{ Rest } b = 0 \\ 1940 : 7 &= 277, \text{ Rest } c = 1 \\ &\text{ferner ist } x = 24 \\ &\qquad\qquad y = 5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (19a + x) : 30 &= 62 : 30 = 2, \text{ Rest } d = 2 \\ (2b + 4c + 6d + y) : 7 &= 21 : 7 = 3, \text{ Rest } e = 0. \end{aligned}$$

Mithin fällt der Ostersonntag 1940 auf den 24. März.

Von seiner Mitwirkung bei der Festsetzung des Osterdatums abgesehen, spielt der Mond in der modernen Zeitrechnung keine Rolle mehr, und wir könnten die Beobachtung und Erklärung seiner Bewegung als eine rein astronomische An-

gelegenheit beiseite tun, wenn nicht unser Trabant noch andere Wirkungen ausüben würde, die ein viel allgemeineres Interesse verdienen. Ich meine mit diesen Wirkungen *nicht* etwa die in weiten Kreisen für erwiesen gehaltenen Einflüsse des Mondes auf das *Wetter*. Die Ansicht, daß Mond und Wetter in einem Zusammenhang stünden, insbesondere daß der Wechsel der Lichtgestalten des Mondes Wetterumschwung mit sich brächte, ist ebenso weit verbreitet wie falsch. Dieser Irrtum ist dem begreiflichen Wunsch nach sicheren Wetteranzeichen entsprungen und ist durch die vielfache Erfahrung genährt worden, daß Wetterwechsel und Mondwechsel zeitlich zusammenfielen. Daß dies sehr häufig geschieht, ist nicht verwunderlich, denn beide, Wetter wie Mondphase, wechseln häufig — letztere durchschnittlich alle 7—8 Tage, ersteres mitunter noch öfter, ein häufiges zeitliches Zusammentreffen beider Erscheinungen ist daher lediglich dem Zufall zuzuschreiben — genaue Auszählungen aller Fälle, in denen ein Zusammentreffen stattfand und in denen dies nicht der Fall war, haben einwandfrei das Fehlen jedes gesetzmäßigen Zusammenhangs ergeben.

Wenn ich von den Einflüssen des Mondes spreche, so meine ich vielmehr die *Gezeiten des Meeres*, *Ebbe* und *Flut*, die ihr Entstehen zum überwiegenden Teile unserem Monde verdanken. Die Bewohner unserer Meeresküsten, denen Ebbe und Flut nicht nur interessante Naturerscheinungen bedeuten, sondern deren Leben mehr oder weniger entscheidend durch die Meeresgezeiten geregelt wird, werden daher großen Wert darauf legen, daß ihr Kalender auch über Stellung und Bewegung des Mondes Auskunft gibt.

Daß der Mond Ebbe und Flut hervorruft, ist eine unmittelbare Folge jener Anziehungskräfte, die nach der Entdeckung *Isaak Newtons* (wir berichteten im ersten Kapitel darüber) jede Masse im Raume auf jede andere Masse ausübt. Diese Kraft ist um so größer, je geringer die Entfernung beider Körper ist, und je größer ihre Massen sind. Auf die Entfernung kommt es dabei besonders an: Ist die anziehende Masse doppelt so groß, so auch die Kraftwirkung, ist dagegen die anziehende Masse doppelt so *nahe*, so wächst die

Kraft um das *Vierfache*. Da der Mond von allen Himmelskörpern bei weitem der uns nächste ist, wird seine Anziehungskraft trotz seiner für Weltkörperverhältnisse nur bescheidenen Masse außerordentlich fühlbar für uns sein.

Unter den vielgestaltigen Einflüssen der Anziehungskraft des Mondes auf die Erde nimmt die Erzeugung der Meereszeiten den wichtigsten Platz ein. Der Laie pflegt sich ihr Zustandekommen vielfach so vorzustellen, daß der Mond infolge seiner Anziehung die beweglichen Wassermassen auf der ihm zugewandten Erdseite zu sich emporzieht und dadurch Flut hervorruft. Dieser Deutung widerspricht aber schon die Beobachtung, daß ein solcher *Flutberg* nicht nur auf der dem Monde zugewandten, sondern auch auf der entgegengesetzten, von ihm abgewandten Erdhälfte entsteht. Diese Erscheinung birgt die wahre physikalische Erklärung der Meereszeiten in sich: Sie beruht darauf, daß die Anziehungskraft des Mondes, wie Abb. 29 anschaulich macht, an denjenigen Stellen des Erdkörpers, die ihm am nächsten gelegen sind, am größten, an den von ihm abgewandten Stellen aber am kleinsten ist. Für den festen Erdkörper selbst bedeutet diese Verschiedenheit der Anziehungskräfte so gut wie nichts; infolge seiner Starrheit folgt er ihnen als Ganzes. Das Meer aber, das den größten Teil der Erdoberfläche bedeckt, stellt eine mit dem Erdkörper nicht fest zusammenhängende und in sich bewegliche Masse dar — sie wird auf der dem Monde zugewandten Seite stärker, auf der ihm entgegengesetzten Seite dagegen schwächer angezogen als der feste Erdball — die Folge ist, wie Abb. 29 in übertriebenem Maßstab verdeutlicht, die Entstehung zweier Flutberge, in die das Meerwasser zusammenströmt — sie füllen sich aus den dazwischenliegenden Gebieten auf, in denen Ebbe herrscht.

Da die Erde sich, wie wir gesehen haben, etwa 27mal schneller um ihre Achse dreht, als der Mond um die Erde kreist, so folgt, daß die beiden Flutberge in etwa einem Tage¹ um die Erde herumlaufen — der Erdkörper dreht sich gewissermaßen unter ihnen weg. Jeder Erdort, sofern er vom

¹ d. h. in einem *Mondtage*, der Zeit zwischen zwei Kulminationen des Mondes, die etwa 24 Stunden 48 Minuten im Durchschnitt beträgt.

Meere bedeckt ist, und sofern er von der Bahn der Flutberge in Mitleidenschaft gezogen wird, wird demnach *zweimal* am Tage Ebbe und Flut zeigen — einmal, wenn der Mond seinen höchsten Stand am Himmel dieses Ortes erreicht hat, einmal, wenn er am tiefsten unter dem Horizont steht. Die halbtägige Flutwelle wird allerdings nicht überall auf der Erde in Erscheinung treten, da die *Rotationsachse* der Erde nicht senkrecht auf der Mondbahn steht: In den polaren Gegenden wird ein Ort der Erdoberfläche nur einmal während eines Tages in den Bereich der Flut gelangen, einen halben Tag

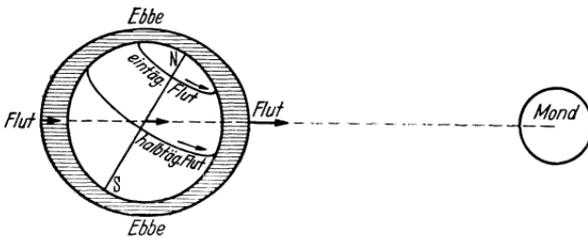


Abb. 29. Entstehung der Meeresgezeiten: Die dem Monde abgewandten Meeresteile werden weniger, die ihm zugewandten stärker angezogen als die feste Erde selbst. So entstehen zwei Flutberge, dazwischen ein Ebbering. In polaren Gebieten herrscht die eintägige, in äquatoralen die halbtägige Flut vor, wie die beiden eingezeichneten Beispiele unmittelbar veranschaulichen.

später dagegen das Ebbegebiet durchlaufen. In diesen Gegenden herrscht demnach eine ganztägige Flut. An den Polen selbst, die an der täglichen Drehung der Erde überhaupt nicht teilnehmen, ist die Gezeitenerscheinung nur noch von der Bewegung des Mondes um die Erde abhängig; wir beobachten dort Gezeitenwellen von der Dauer eines halben oder eines ganzen Monats — hier treten auch diejenigen Änderungen der Gezeitenkräfte unmittelbar in Erscheinung, die von der wechselnden Entfernung Erde—Mond (infolge der stark elliptischen Gestalt der Mondbahn) herrühren.

Alles in allem ist demnach die Gesetzmäßigkeit der Meeresgezeiten sehr kompliziert, da einerseits die Bewegungsform des Mondes um die Erde nicht sehr einfach ist — sie gehört vielmehr zu den verwickeltsten Problemen der theoretischen Astronomie —, andererseits aber auch der Gezeiteneinfluß

noch sehr wesentlich von der Lage des Gezeitenortes auf der Erdoberfläche abhängt. Immerhin wäre die Aufgabe, aus der von den Astronomen genau beschriebenen und vorausberechneten Mondbewegung auf die Art des Ebbe- und Flutwechsels an jedem beliebigen Punkte der Erdoberfläche zu schließen, ein physikalisches Problem, dessen Lösung in aller Strenge möglich sein müßte, wenn die Erde völlig mit Wasser bedeckt wäre. Nun tritt aber zu allen diesen theoretischen Schwierigkeiten noch der Umstand hinzu, daß der Bewegung des Flutberges über die Meeresoberfläche an den zahlreichen und vielgestaltigen Küsten der Kontinente eine natürliche und unüberwindliche Schranke gesetzt ist. Durch die Küsten wird die Flutwelle abgebremst, gestaut, zurückgeworfen und in andere Richtung gezwungen — es hat sich somit ein Bild ergeben, das von dem der Fluterscheinungen eines die ganze Erde erfüllenden Ozeans völlig verschieden ist. Wenn wir in den Hafenorten unserer Meeresküsten durch Wasserstandsmessungen die Erscheinungen der Ebbe und Flut registrieren, so erfahren wir, daß die Flutzeiten keineswegs mit dem höchsten bzw. tiefsten Mondstand zusammenfallen, sondern beachtliche Verzögerungen erleiden. Auch die *Höhe* der Flutwelle entspricht keineswegs dem für einen freien Ozean berechneten theoretischen Wert — oft wird an den Küsten durch Stauwirkung, in Buchten und Flußmündungen durch Zusammendrängung der von der Flut hereingeführten Wassermassen ein Hochwasser erzielt, das die theoretische Erwartung um ein Vielfaches übersteigt. Das einzige, was uns aus der Theorie der Gezeitenerscheinungen einer freien Meeresoberfläche ohne Verzerrung erhalten bleibt, sind die *Perioden* der Wasserstandsänderung, die gleich den kosmischen Perioden der Erd- und Mondbewegung sein müssen. Daß es mehrere derartige Gezeitenperioden gibt, haben wir oben gesehen — wir sahen, daß manche Orte eine halbtägige, manche eine ganztägige Flutperiode bevorzugen, und daß an den Polen sogar längere Gezeitenperioden sichtbar wurden, solche von der Dauer eines halben oder eines ganzen Monats. In Wirklichkeit werden alle diese Perioden (und andere, die noch aus der verwickelten Art der Mondbewegung folgen) *überall* maßgebend sein —

nur mit dem Unterschied, daß an einem Orte die eine, an anderem Orte eine andere dieser Perioden vorherrschend ist. Wir können uns den ganzen Vorgang so klarmachen, daß wir die gesamte Flutbewegung, die über irgendeinen Ort hinweggeht, als die Summe vieler Einzelwellen auffassen, die verschiedene Schwingungszeiten (halbtägige, ganztägige usw.), aber auch verschiedene Eintrittszeiten besitzen und verschiedenen große Beiträge zum Aufbau des beobachteten Vorgangs liefern. So wird im allgemeinen in kleinen und mittleren Breiten die halbtägige Flutwelle vorherrschen, in höheren Breiten dagegen die ganztägige und an den Polen selbst — soweit hier wegen der Vereisung überhaupt von Gezeiten die Rede sein kann — die langperiodischen Wellen allein den Flutverlauf kennzeichnen. Zu diesen verschiedenen Wellen, die der Fachmann als „Tiden“ (englisch tide = Flut) bezeichnet, kommen dann noch die Gezeiteneinflüsse der *Sonne*, die ebenfalls eine merkliche Rolle spielen, obwohl sie nicht so groß sind wie die des Mondes.

Diese Tiden haben nun für jeden Hafenort (auf hoher See lassen sich Gezeiten nur schwer feststellen und haben auch für die Schifffahrt keine praktische Bedeutung) ihre besonderen charakteristischen Eigenschaften, die nach Eintrittszeit des Hochwassers und Hubhöhe oft sehr von den nach der Theorie zu erwartenden Werten abweichen. So kommt es vor, daß die ganztägigen Tiden, die nach unseren obigen Überlegungen nur in hohen Breiten den Gezeitenvorgang beherrschen sollten, unter Umständen auch in Häfen nahe des Äquators an Hubhöhe die halbtägigen Tiden weit übertreffen. Das Zusammenspiel aller Tidenarten macht den Gezeitenvorgang vielgestaltig und verwickelt. Bekannt ist die Erscheinung der *Spring-* und *Nippfluten*, die durch das Zusammenwirken der halbtägigen Sonnen- und Mondtide entsteht. Die Sonnentide hat (theoretisch) Hochwasser, wenn die Sonne (bzw. ihr Gegenpunkt am Himmel) durch den Meridian geht, die Mondtide dann, wenn dies mit dem Monde der Fall ist. Wenn nun Neumond ist, d. h. Mond und Sonne dicht beieinander am Himmel stehen, wirken die fluterzeugenden Kräfte beider Gestirne in gleicher Richtung, ihre Wirkungen summieren sich also, und

es entsteht eine *Springflut* mit großer Hubhöhe. Das gleiche tritt zur Vollmondszeit ein, wenn Sonne und Mond einander gegenüber stehen. In den dazwischenliegenden Zeiten des ersten und letzten Viertels dagegen tritt zur Zeit des Hochwassers der Mondtide das Niedrigwasser der Sonnentide ein. Da die Mondtide an Hubhöhe die schwächere Sonnentide übertrifft, werden beide Wirkungen sich nicht aufheben, es wird aber zu einer starken Verminderung der Mondflutwirkung durch die Sonne kommen — das Hochwasser wird nur eine geringe Höhe erreichen (*Nippflut*). Die Springfluten sind an manchen Küsten gefürchtet, besonders wenn das Hochwasser durch landeinwärts wehende Stürme noch vermehrt wird.

Die gezeitenerzeugenden Kräfte des Mondes wirken, ebenso wie auf den Wassermantel der Erde, auch auf ihre Lufthülle, die *Atmosphäre*. Die Luft folgt diesen Kräften infolge ihrer größeren inneren Beweglichkeit noch bedeutend leichter und reibungsloser als die Gewässer der Ozeane. Aber diese atmosphärischen Gezeiten sind der menschlichen Beobachtung weit weniger zugänglich als die Ebbe- und Fluterscheinungen an den Meeresküsten. Sie äußern sich in einer Schwankung des *Luftdrucks*, die dem Laufe des Mondes in der gleichen Weise folgt, wie die Flutwelle des Meeres, und die daher für einzelne Beobachtungsorte die Periode eines halben oder eines ganzen Mondtages besitzt. Diese regelmäßige Luftdruckschwankung ist aber in ihrer Gesamtwirkung ziemlich klein und wird von den Luftdruckveränderungen, die mit der Gestaltung des *Wetters* verbunden sind, so sehr übertroffen, daß sie kaum bemerkbar ist. Während die gewöhnlichen Luftdruckschwankungen in unseren Breiten den Barometerstand oft um 30 bis 50 mm Quecksilber verändern, erreichen die atmosphärischen Mondgezeiten nur selten „Hubhöhen“ von 1–2 mm. Nur in Weltgegenden, die ein sehr gleichmäßiges Klima besitzen, und in denen die Quecksilbersäule des Barometers oft längere Zeit hindurch nur ganz wenig schwankt, treten die halbmondtägigen Gezeitenwellen in den Luftdruckkurven deutlich zutage, so z. B. in den Luftdruckaufzeichnungen tropisch-ozeanischer Stationen. In Gegenden mit stark veränderlichem Wetter dagegen bedarf es sehr schwieriger und sorgsamer „Analysen“,

um die kleinen Gezeiteneffekte festzustellen, die sich zu den großen unregelmäßigen Luftdruckschwankungen etwa so verhalten wie die kleinen Kräuselungen der Meeresoberfläche zu den gewaltigen Wogen des Ozeans. So wie das Schiff des Seefahrers durch diese Wogen auf und ab geschaukelt, aber durch die Oberflächenkräuselung des Wassers nicht bewegt wird, so wird auch das Wetter, das von den kräftigen Schwankungen des Barometerstandes sehr abhängig ist, durch die geringfügigen atmosphärischen Gezeiten in keiner merklichen Weise beeinflusst. Diese Gezeitenwirkung ist aber auch die einzige physikalische Wirkung, die unser Mond auf den Zustand der Atmosphäre und damit auf das Wetter ausübt. Die alten und neuen „Wetterpropheten“, die immer noch den Lauf des Mondes als wetterbestimmenden Faktor in ihre Voraussagen einbeziehen, mögen in dieser einfachen Feststellung ein Urteil über den Wert ihrer Tätigkeit ausgesprochen sehen.

Noch geringer sind natürlich die Gezeitenwirkungen auf den festen Erdkörper selbst. Sie sind vorhanden, denn auch der feste Erdball ist nicht absolut starr, sondern besitzt eine gewisse Elastizität und damit eine, wenn auch geringe, Nachgiebigkeit gegen die Anziehungskräfte unseres Trabanten, die an ihm zerren und seine Form ebenso zu verändern suchen, wie sie es bei der Form der Meeresoberfläche mit besserem Erfolge tun. Durch sehr genaue Schwerkraftsmessungen, die an irgendeinem Beobachtungsort fortlaufend angestellt werden, kann man äußerst kleine Schwankungen der Schwerkraft feststellen, die durch die jeweilige Stellung des Mondes bedingt sind. Auch die Neigung der Lotlinie ist infolge der Einwirkung des Mondes sehr geringen, aber noch meßbaren Schwankungen unterworfen. Der Potsdamer Geodät Sch weydar leitete aus seinen Messungen für Potsdam eine Hubhöhe der Gezeiten des Erdkörpers von etwa 12 cm ab. Irgendeine spürbare Wirkung haben diese minimalen Verzerrungen des Erdkörpers natürlich nicht — es sei denn, daß sie gelegentlich zur Auslösung vorhandener Spannungen im Erdinnern beitragen und somit — im Verein mit anderen Ursachen — die Entstehung von *Erdbeben* erleichtern.

Mit den Gezeitenwirkungen des Mondes ist die Liste der

physikalischen Einflüsse des Mondes auf unseren Planeten keineswegs erschöpft — wir können aber alle übrigen mit kurzen Worten übergehen, da sie im wesentlichen in das Gebiet der reinen Astronomie fallen und somit den Rahmen unseres Buches überschreiten. Ich meine damit die Gesamtheit aller Einwirkungen, die nach dem Newtonschen Gesetz der Gravitation die sehr verwickelte Bahn unseres Trabanten auf die Bewegung der Erde im Raume hat. Nur bei einer dieser Wirkungen müssen wir einen Augenblick verweilen.

Nach den Ergebnissen des zweiten Kapitels hat die Erde die Form eines Rotationsellipsoides, das an den Polen ab-

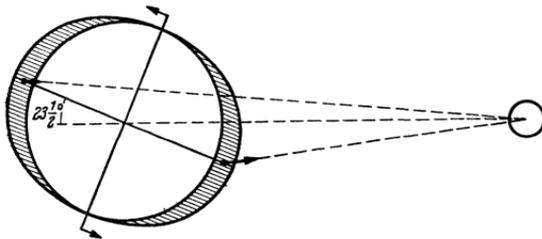


Abb. 30. Erklärung der Präzession: Der Mond (ebenso Sonne und Planeten) übt auf den Äquatorwulst der abgeplatteten Erde Anziehungskräfte aus, und zwar auf den ihm zunächst gelegenen Teil größere als auf die entfernteren Teile. Dadurch entsteht ein Drehmoment, das bestrebt ist, die „Schiefe der Ekliptik“ ($23\frac{1}{2}^\circ$) zu verkleinern, die Erdachse also aufzurichten. Infolge des Trägheitsgesetzes gelingt dies Bestreben nicht, sondern . . . s. Abb. 31.

geplattet und demnach längs des Äquators — verglichen mit der Kugelform — wulstartig überhöht erscheint. Diese so gestaltete und sich kreiselartig drehende Erde umläuft der Mond auf einer Bahn, deren Ebene gegen die des Äquators stark geneigt ist. Die Größe dieses Neigungswinkels ist nicht gleichbleibend, es genügt hier, anzugeben, daß sie zwischen 18° und 28° schwankt. Infolge dieser Schiefe der Mondbahn gegen die Drehungsebene des Erdkörpers wird der Mond durch seine Anziehungskraft immer wieder Gelegenheit haben, auf den Äquatorwulst der Erde Zugkräfte auszuüben, deren Bestreben es sein muß, die Schiefstellung der Erdachse zur Mondbahn zu beseitigen. Jedesmal, wenn der Mond sich auf seiner monatlichen Bahn aus der Äquatorebene entfernt, wird er den ihm zunächst gelegenen Teil des Äquatorwulstes, wie

Abb. 30 zeigt, zu sich heranzuziehen suchen, und wenn die Erde sich nicht drehen würde, hätte er bestimmt in kürzester Zeit sein Ziel erreicht. Ein sich drehender Körper hat nun aber nach bekannten Gesetzen der Mechanik das Bestreben, seine Achsenrichtung im Raume zu bewahren. Wir beobachten dies Gesetz am besten an der Bewegung eines *Kreisels*, wie ihn die Kinder als Spielzeug benutzen. Solange der Kreisel sich dreht, steht seine Achse senkrecht auf dem Erdboden, und er schwebt auf seiner Spitze, obwohl die Schwerkraft ständig auf ihn wirkt und bestrebt ist, ihn zu Fall zu bringen. Wenn nun die Kreiselachse nicht senkrecht steht, sondern gegen den Erdboden geneigt ist, so beobachten wir etwas äußerst Seltsames: Der Kreisel fällt nicht etwa um, wie er es ohne Zweifel tun würde, wenn er sich in dieser schiefen Lage nicht drehen würde. Seine Achse vermag aber unter dem Einfluß der schief auf ihn wirkenden Schwerkraft auch ihre

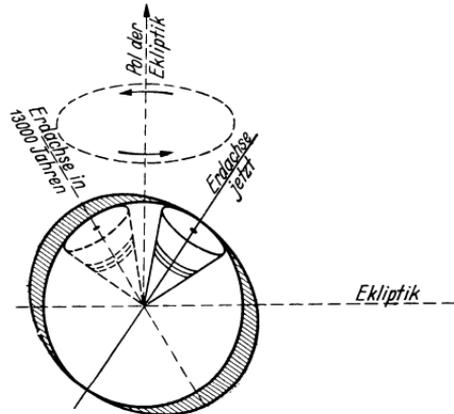


Abb. 31. . . . die Erde verhält sich wie ein Kreisel, der mit schief gestellter Drehachse auf seiner Unterlage tanzt: Die Achse weicht seitlich aus und beschreibt daher unter Beibehaltung ihres Neigungswinkels die Mantelfläche eines Kegels, dessen Achse senkrecht auf der Ekliptikebene steht und daher nach dem (unveränderlichen) Pol der Ekliptik zeigt.

Lage im Raum nicht mehr zu bewahren. Durch das Zusammenwirken beider Bestrebungen, der des Kreisels nach Erhaltung seines Drehzustandes und der der Schwerkraft, ihn zum Umfallen zu bringen, entsteht eine neue Bewegungsart: Die Drehachse verändert ihre Lage, aber nicht ihre Neigung gegen den Erdboden — die Kreiselachse beschreibt langsam eine Kegelfläche.

Auch die Erdachse vollführt eine derartige Bewegung. Wir haben sie bereits im vorigen Kapitel kennengelernt: Die Präzession der Tagundnachtgleichen, die wir dort als merkwür-

dige Erscheinung hinnahmen, ohne sie erklären zu können, ist ihre unmittelbare Folge. Die Anziehungskraft des Mondes (und ähnlich auch die der Sonne) auf den Äquatorwulst der wie ein Kreisel rotierenden Erde spielt die Rolle der störenden Kraft; unter ihrem Einfluß verändert die Drehachse des Kreisels ihre Richtung, aber nicht ihre *Neigung* gegen die Ebene, in der jene störenden Kräfte wirken. Die Drehachse der Erde vollführt daher eine langsame Bewegung, die ihre Neigung gegen die Ekliptik ($23\frac{1}{2}^\circ$) unveränderlich läßt (bis auf kleine Schwankungen, die von den obengenannten Schwankungen der Lage der Mondbahnebene herrühren), aber bewirkt, daß die Schnittlinie zwischen Äquator und Ekliptik, die Frühlings- und Herbstpunkt miteinander verbindet, in 26 000 Jahren einmal um die Ekliptik herumführt (Abb. 31). Die Präzessionsbewegung läßt sich demnach auch so beschreiben, daß man sagt: die Richtung der Erdachse, die, ins Unendliche verlängert, zu den Polen der Fixsternsphäre führt, liegt nicht fest im Raum — wenn sie heute ungefähr auf den *Polarstern* zeigt, so wird sie dies in einigen tausend Jahren nicht mehr tun. Der Himmelspol wandert vielmehr in 26 000 Jahren auf einem Kreise von $23\frac{1}{2}^\circ$ Halbmesser um den „Pol der Ekliptik“ herum, der irgendwo im Sternbild des Drachens liegt und in Wahrheit für unsere irdische Welt den „ruhenden Pol in der Erscheinungen Flucht“ bedeutet.

VII. Lebensspenderin Sonne.

Keinen größeren Gegensatz zwischen zwei Lebensgefährten kann man sich vorstellen, als den zwischen Erde und Mond, die seit Jahrmillionen ihre Bahn um die Sonne ziehen, sich einträchtig umkreisend. Die Erde ein lebensprühendes Geschöpf — der Mond eine tote Welt. Wenn wir in der Überschrift dieses Kapitels die *Sonne*, mit deren Einflüssen auf Erde und irdisches Leben wir uns jetzt beschäftigen wollen, eine Lebensspenderin genannt haben, so muß es besondere

Ursachen haben, daß sie Erde und Mond — trotz der gleichen Stellung, die sie zur Sonne einnehmen, so verschieden mit ihren Gaben bedacht hat.

In der Tat hat die Natur den Mond stiefmütterlich begabt und ihn der lebenerweckenden Kraft der Sonne gegenüber unempfänglich und unfruchtbar gemacht. Ihm fehlt — das ist die Hauptursache dieses krassen Gegensatzes — vor allem die *Atmosphäre*, jene Hülle aus gasförmigen Bestandteilen, die Menschen, Tieren und Pflanzen die *Atmung* ermöglichen — damit aber auch das *Wasser*, das sich auf einem atmosphärelosen Himmelskörper in flüssiger Gestalt nicht halten kann. Das Fehlen der Atmosphäre beraubt darüber hinaus den Mond jeglichen Schutzes gegen Ein- und Ausstrahlung: Auch auf der Erde können die Sonnenstrahlen, die ihr Licht und Wärme bringen, ihre segensreiche Wirkung nur entfalten, weil sie durch das Filter der Atmosphäre gedämpft und gemildert zu uns gelangen. Auf dem Monde aber treffen sie das nackte Gestein des Bodens mit ungehinderter Gewalt und erhitzen es bei Tage auf weit über 100° Celsius, während die ungehinderte Ausstrahlung bei Nacht es tiefe Temperaturen annehmen läßt, die der tödlichen Kälte des Weltenraums sehr nahe kommen. Die Erde ist gegen diesen ungeheuren Temperaturwechsel zwischen Tag und Nacht durch die Lufthülle geschützt, die sie wie ein Mantel umgibt.

Warum besitzt der Mond diese schützende Atmosphäre nicht? Die *Physik* vermag uns über diese interessante Frage eine befriedigende Auskunft zu geben: Der Grund ist die geringe *Schwerkraft*, die auf der Oberfläche unseres Trabanten herrscht. Ein Körper, der auf der Erde 6 kg wiegt, würde auf dem Monde nur 1 kg wiegen. Dort oben fällt ein Stein langsamer zur Erde, als bei uns, und wir könnten mit derselben Kraftanstrengung viel höher springen und einen Ball viel weiter werfen, als auf der Erde. Die Physiker haben nun erkannt, daß die *Gase*, also auch die atmosphärische Luft, aus Molekülen bestehen, die ständig mit sehr großen Geschwindigkeiten durcheinanderwirbeln — Geschwindigkeiten, die bis zu 2 km/sec und darüber gehen. Auf der Erde ist nun die Schwerkraft so stark, daß ein selbst mit so enormer Geschwindigkeit geworfenes Ge-

schoß wieder zur Erde zurückfällt, auch wenn es senkrecht emporgeschleudert wird. Um es dem Anziehungsbereich der Erde zu entziehen, wäre vielmehr eine Anfangsgeschwindigkeit von mehr als 11 km/sec erforderlich. Auf dem Monde beträgt diese kritische Geschwindigkeit dagegen nur 2,4 km/sec, liegt also an der Grenze des Bereichs, der von der molekularen Geschwindigkeit der Gasteilchen unter Umständen überschritten wird. Man kann sich daher vorstellen, daß eine Mondatmosphäre, wenn sie überhaupt jemals bestanden hat, ständig Verluste erlitten hat, weil besonders schnell bewegte Moleküle in den Weltraum enteilt sind, ohne zurückzukehren. Dieser Prozeß hat offenbar schon in grauester Vorzeit zur völligen Verarmung der Mondatmosphäre geführt — heute sind auch nicht die geringsten Spuren mehr von einer solchen Gashülle vorhanden.

Unsere Erde ist also in der glücklicheren Lage, einen schützenden Luftmantel zu besitzen, der die Strahlen der Sonne mildert und vor allem für eine ordentliche Ventilation sorgt. Ein zweiter Umstand, der eine segensreiche Verwertung der von der Sonne eingestrahnten Energiemengen ermöglicht, ist die verhältnismäßig kurze Dauer ihrer Achsendrehung, durch die bewirkt wird, daß alle Teile der Erdoberfläche — abgesehen von den Polargebieten, in denen ungünstigere Verhältnisse herrschen — gleichmäßig mit Licht und Wärme versorgt werden, und die für den Bestand des *Lebens* so verderblichen großen Temperaturunterschiede zwischen Tag und Nacht vermieden werden. Auch in dieser Hinsicht ist unser Mond erheblich schlechter weggekommen: Da er (aus einem Grunde, den wir im letzten Kapitel noch verstehen lernen werden) der Erde auf seinem monatlichen Kreislauf immer die gleiche Seite zukehrt, hat für ihn der „Sonntag“ die Länge eines synodischen Monats — seine Tage und Nächte sind daher fast 15 Erdentage lang. Würde unsere Erde eine so lange Rotationsdauer besitzen, so würde die Sonne 15 Tage lang auf uns herniederbrennen und eine unerträgliche Hitze erzeugen, während die ebenso lange Nacht die Temperaturen durch Ausstrahlung erheblich sinken lassen würde. Natürlich würde auch in solchem Falle die ausgleichende Wirkung der Lufthülle in

Tätigkeit treten — alles in allem wären aber die Lebensbedingungen auf unserem Planeten dann bedeutend ungünstiger.

Existenz und Beschaffenheit der Lufthülle auf der rotierenden Erde sind demnach notwendige Vorbedingungen für die Entwicklung irdischen Lebens — das Leben selbst wird aber erst möglich durch *Licht* und *Wärme*, die uns ausschließlich von der *Sonne*, dem gewaltigen Zentralgestirn unseres Planetensystems, in reichlichem Maße gespendet werden. In frühester Vorzeit, vor unzähligen Millionen von Jahren, muß die Erde selbst ein glühender Körper gewesen sein — durch den fortschreitenden Abkühlungsprozeß ist sie im Laufe der Zeit erstarrt, und ihre Wärme hat sich tief in das Innere ihres Körpers zurückgezogen. Wir wissen, daß auch heute noch das Erdinnere heiß ist: Wenn wir in einen tiefen Bergwerksschacht hinabsteigen, so bekommen wir diese Eigenwärme der Erde zu spüren. Durchschnittlich nimmt die Temperatur in solchen Schächten alle 30 m um einen Grad Celsius zu — tiefer als 1000—1500 m vermag also der Mensch nicht ins Erdinnere vorzudringen. An manchen Stellen dringt das heiße Innere der Erde bis an die Oberfläche vor — warme Quellen und besonders die Vulkane zeigen uns das. Im allgemeinen aber spüren wir auf der Erdoberfläche von der Erdwärme nichts mehr; sie ist nicht imstande, von unten her für eine Beheizung zu sorgen, wir sind daher ganz und gar auf die Wärmemengen angewiesen, die uns die Sonne durch den Weltraum zustrahlt.

Eine wie ungeheure Vormachtstellung der Sonne innerhalb der Planetenfamilie zukommt, wird uns erst richtig klar, wenn wir auch die *Größe* dieses Weltkörpers im Vergleich zur Erde mit in Betracht ziehen. Im Altertum hatten die Gelehrten nur eine sehr unzureichende Vorstellung davon. Ihrem Anblick nach schien die Sonne ja zunächst die gleiche Größe zu haben wie der Mond, denn sie erscheint am Himmel als eine Scheibe von fast genau dem gleichen Durchmesser, nämlich von einem halben Grad (Abb. 32). Diese Übereinstimmung ist so groß, daß bei einer *Sonnenfinsternis*, wenn der Mond die Sonne bedeckt, die Zeit der totalen Verfinsternung immer nur wenige Augenblicke dauert. Aus der bei diesen Finsternissen

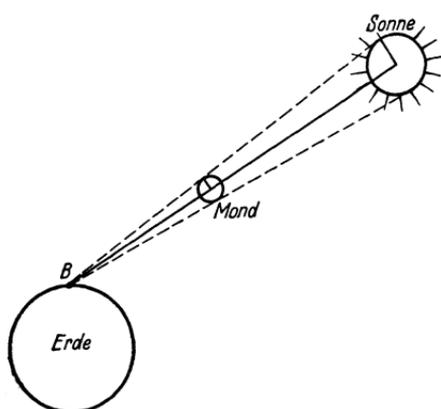


Abb. 32. Größenverhältnis zwischen Mond und Sonne. Ein Beobachter (B) auf der Erde sieht Mond und Sonne unter annähernd dem gleichen Gesichtswinkel. Beide erscheinen ihm gleich groß. Bei einer Sonnenfinsternis erscheint die Sonnenscheibe genau von der Mondscheibe verdeckt. Aus der (maßstäblich unrichtigen) Zeichnung geht hervor, daß demnach die Sonne in Wirklichkeit um ebensoviel größer sein muß als der Mond, als sie weiter von der Erde entfernt ist. Befände sich (nach Aristarch, siehe Abb. 33) die Sonne in 20facher Mondentfernung, so hätte sie auch 20fache Mondgröße.

durch den Augenschein ersichtlichen Tatsache, daß immer der Mond *vor* der Sonne vorbeigeht, zogen die Alten allerdings schon frühzeitig den Schluß, daß in Wirklichkeit die Sonne *größer* als der Mond sei, da sie weiter entfernt ist als dieser. Im vorigen Kapitel erwähnten wir kurz, daß Aristarch von Samos, jener große Gelehrte des Altertums, der schon die Bewegung der Erde um die Sonne lehrte, einen Versuch machte, die Entfernung der Sonne und damit ihre Größe wirklich zu messen. Wenn dieser Versuch auch nicht zum richtigen Ergebnis führte, so ist er doch der Methode nach richtig

und so einfach und anschaulich, daß er sich mit ein paar Worten und einer kleinen Skizze (Abb. 33) verständlich

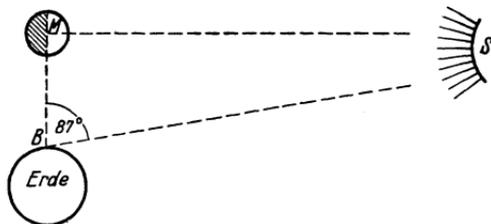


Abb. 33. Aristarch mißt die Entfernung der Sonne: Zur Zeit des ersten Mondviertels ist das Dreieck BMS bei M rechtwinklig. Den Winkel bei B mißt Aristarch zu 87° . Er berechnet daraus, daß die Entfernung BS 20mal größer sein muß als die Entfernung BM . (In Wirklichkeit ist der Winkel bei B nur wenige Bogenminuten kleiner als 90° und die Entfernung BS fast 400mal so groß wie BM .)

machen läßt. Aristarch betrachtet die Stellung der drei Himmelskörper Erde, Mond und Sonne in dem Augenblick, in dem der Mond die Lichtgestalt des ersten Viertels zeigt, in dem also von dem Beobachtungsort B aus die Hälfte der Mondscheibe beleuchtet, die andere Hälfte dunkel erscheint. Offenbar ist dies der Fall, wenn der Winkel des Dreiecks BMS , der beim Monde liegt, ein rechter ist (90°). BMS ist demnach ein rechtwinkliges Dreieck. Wird die Entfernung Erde—Mond als bekannt vorausgesetzt (wir erfuhren schon, daß die griechischen Astronomen sie schon recht genau bestimmt hatten), so brauchen wir nur den Winkel bei B auszumessen, um das ganze Dreieck im richtigen Größenverhältnis zeichnen zu können. Aristarch setzte nun für den Winkel bei B fälschlich 87° ein und gelangte so zu dem Ergebnis, daß die Entfernung der Sonne etwa das 20fache der Mondentfernung betrage. Da Mond und Sonne die gleiche scheinbare Größe haben, mußte demgemäß auch der wahre Durchmesser der Sonne den des Mondes um das 18- bis 20fache übertreffen, also etwa gleich dem $5\frac{1}{2}$ fachen des Erddurchmessers sein.

Die antiken Astronomen erkannten demnach schon, daß von den drei Weltkörpern Erde, Mond und Sonne die letztere der größte sei — immerhin war das Übergewicht, das sie der Sonne zubilligten, nicht sehr überwältigend. Auch dachten sie noch nicht im entferntesten daran, etwa den Begriff der *Masse* in ihre Betrachtungen über die Beschaffenheit der Himmelskörper einzubeziehen. Wenn sie über die Natur der Sonne überhaupt eine Meinung hatten, so war es die, daß die Sonne aus „Feuer“ bestünde. Das Feuer aber war den Alten, im Gegensatz zur festen, schweren und wohlgefügteten Erde, ein leichtes Element, ohne Form und Gewicht, noch unmaterieller als die Luft. Was besagte es da schon, daß dieses himmlische Feuer, die Sonne, in weiter Himmelsferne einen Platz einnahm, der das Volumen der Erdkugel mehrfach übertraf!

Erst der neueren Astronomie war es vorbehalten, diese Anschauungen zu revidieren. Die Methode des Aristarch zur Bestimmung der Sonnenentfernung war sehr ungenau, mußte

aber bei sorgfältiger Messung doch zu Ergebnissen führen, die der Wahrheit besser entsprachen. Merkwürdigerweise dauerte es bis zum Jahre 1650, ehe dieser Versuch gemacht wurde. Der belgische Geistliche Gottfried Wendelin fand durch genaue Messungen für den Winkel bei *B* anstatt der Aristarchschen 87° den besseren, wenn auch immer noch nicht genau richtigen Wert $89\frac{3}{4}^\circ$, aus dem für die Sonnenentfernung nahezu das 250fache der Mondentfernung folgte.

Die Messung der Entfernung der Himmelskörper hat, obwohl rein astronomischer Natur, doch für den Gegenstand dieses Buches eine große Bedeutung: durch sie gelingt es, unsere Erde nicht nur begriffsmäßig, sondern auch *maßstäblich* in das Gefüge des Weltgebäudes einzugliedern. Darüber hinaus hat die Bestimmung der Entfernung Erde—Sonne noch einen weiteren Sinn. Durch sie wird der *Durchmesser der Erdbahn* festgestellt und in irdischem Maß ausgedrückt. Dieser Durchmesser aber ist für uns nicht eine beliebige geometrische Größe; er ist vielmehr das Grundmaß für die Weite unserer jährlichen Reise durch den Weltenraum, die wir auf dem um seine Achse wirbelnden Gefährt, der Erdkugel, zurücklegen. Der Durchmesser der Erdbahn stellt die größte Entfernung dar, die zwischen zwei beliebigen Standorten der Erde im Raum erreicht werden kann (vorausgesetzt, daß wir die Sonne als ruhend annehmen) und damit die größte *Basislinie* im Weltenraum (vgl. S. 26), die wir mit unseren Instrumenten unter Zuhilfenahme der Erdbewegung „abschreiten“ können. Ihre genaue Ausmessung ist die Vorbedingung für eine Ausmessung des Weltgebäudes überhaupt, soweit wir hierfür jene Methoden heranziehen, die wir auch bei der Ausmessung irdischer Gebiete kennengelernt haben: die Methoden der *Triangulation*.

Auf dem Erdkörper selbst haben wir Basislinien zur Verfügung, die ganz wesentlich kürzer sind — die längste unter ihnen ist der Durchmesser der Erde selbst, der nach den Ergebnissen der Gradmessungen etwa 12 750 km mißt. Ihn können wir theoretisch (in der Praxis begnügt man sich aus technischen Gründen mit kleineren Basislinien) als Basislinie für die Entfernungsbestimmung der uns nächsten Him-

melskörper benutzen, indem wir, genau das Beispiel der Abb. 34 nachahmend, die Richtungen bestimmen, in denen der Himmelskörper den Beobachtern an den beiden Endpunkten der Basislinie erscheint. Diese Messung kann sogar von einem und demselben Beobachter vorgenommen werden, ohne daß deswegen eine lange Reise nötig ist, denn die tägliche Drehung der Erde selbst sorgt ja schon für den Transport des Beobachters über weite Strecken. Der Astronom mißt nun bei derartigen Entfernungsbestimmungen nicht die beiden Winkel zwischen der Basislinie und den Richtungen, die von den Endpunkten der Basis nach dem Gestirn führen (Winkel bei A und B in Abb. 34), sondern den dritten, sehr kleinen Winkel im Meßdreieck, der beim Stern liegt und den Unter-

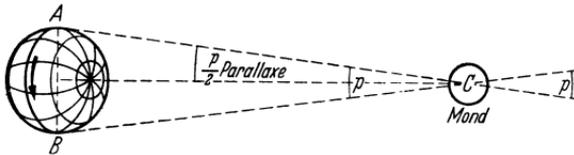


Abb. 34. Tägliche Parallaxe des Mondes. Infolge der Erddrehung wird der Punkt A in 12 Stunden nach B gelangen. Die Richtung nach dem Monde ändert sich infolgedessen um den Winkel p . Das gleichschenklige Dreieck ABC ist durch die Basis AB (Erddurchmesser) und den meßbaren Winkel p vollkommen bestimmt, also auch die Mondentfernung. $\frac{1}{2} p$ ist der Winkel, unter dem, vom Monde aus gesehen, der Erdradius erscheint.

schied der beiden Richtungen wiedergibt. Dieser Winkel (p) läßt sich auch deuten als der Gesichtswinkel, unter dem — vom Stern aus gesehen — die Basislinie AB erscheinen würde. Ist die Basislinie der Erddurchmesser selbst, so stellt der Winkel p (Abb. 34) den Gesichtswinkel dar, unter dem einem gedachten Beobachter auf dem Himmelskörper die Erdkugel sichtbar wäre. Die Hälfte dieses Winkels — also die scheinbare Größe des Erdradius, vom Gestirn aus betrachtet, heißt die *tägliche Parallaxe* des Gestirns¹. Die Parallaxe ist um so kleiner, je größer die Entfernung ist — sie steht mit ihr in einem einfachen gesetzmäßigen Zusammenhang und kann daher an Stelle der Entfernung selbst als Ausdruck der Entfernung verwendet werden —, die Astronomen gebrauchen sie

¹ Der Winkel, unter dem von einem Fixstern aus der Radius der *Erdbahn* erscheint, heißt zum Unterschied davon die *jährliche* Parallaxe.

stets, weil sie sich aus den Ergebnissen der Beobachtungen, die ja immer in Winkelmessungen bestehen, leicht ableiten läßt, und weil ihre Angabe noch unabhängig von der anzunehmenden Basislänge ist.

So entsprach die Messung der Sonnenentfernung durch Aristarch einer *Sonnenparallaxe* von 3 Bogenminuten, während Wendelin nur 14 Bogen-

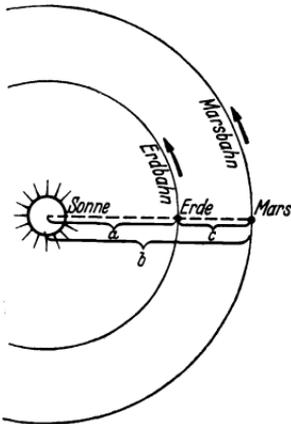


Abb. 35. Bestimmung der Sonnenparallaxe durch Beobachtung des Planeten Mars in der Opposition: Die Parallaxe und damit die Entfernung des Mars ist am leichtesten meßbar, wenn Mars in Erdnähe steht, wie in der Abbildung. — Das Verhältnis $b : a$ ist aus dem dritten Keplerschen Gesetz bekannt. Die gemessene Marsentfernung ist $c = b - a$. Aus diesen beiden Stücken läßt sich a , die Sonnenentfernung, leicht berechnen.

Während Wendelin nur 14 Bogensekunden fand. Der heute als richtig erkannte Wert beträgt 8,80 Bogensekunden und führt auf eine Sonnenentfernung von etwa 390 Mondentfernungen oder 150 Millionen km. Dieser moderne Wert ist nicht durch direkte trigonometrische Vermessung der Sonne von den Endpunkten einer irdischen Basislinie aus erfolgt — das hätte große Schwierigkeiten gemacht, da die Sonne wegen ihrer großen Helligkeit ein ungünstiges Beobachtungsobjekt für feine Messungen darstellt —, sondern vielmehr auf indirektem Wege. Die Mittel dazu lieferte die Erkenntnis der mechanischen Struktur des Planetensystems, die in ihrer Grundform in den Gesetzen Keplers niedergelegt ist. Das dritte Keplersche Gesetz lautet nämlich: Die Kuben der großen Halbachsen der Bahnen der Planeten verhalten sich umgekehrt wie die Quadrate der Umlaufzeiten. Damit ist die Dimension der Planeten-

bahnen in eine feste Beziehung zu ihren Umlaufzeiten um die Sonne gebracht worden. Da wir die Umlaufzeiten der Planeten aber genau kennen, so kennen wir auch die Verhältnisse zwischen ihren großen Halbachsen, d. h. den mittleren Entfernungen der Planeten von der Sonne. Aus diesem Gesetz folgt ferner, daß uns sämtliche Entfernungen im Planeten-

system bekannt sind, wenn wir nur *eine einzige* dieser Entfernungen wirklich ausgemessen haben. Es ist demnach gar nicht notwendig, die beobachtungstechnisch so schwer zu erfassende Entfernung Sonne—Erde direkt zu messen, sondern es genügt vollständig, die Entfernung irgendeines anderen Planeten unseres Sonnensystems, dessen Bahnverhältnisse uns bekannt sind, in einem günstigen Augenblick — etwa dann, wenn er uns am nächsten steht — durch Triangulation zu bestimmen.

Diesen Ausweg erkannte man bald, nachdem das heliozentrische System in der Wissenschaft Eingang gefunden hatte und durch Newtons Gravitationsgesetz fest begründet war. Die erste moderne Bestimmung der Sonnenparallaxe wurde von Richer auf seiner schon S. 28 erwähnten Expedition nach Cayenne (1671) durch Messung der Parallaxe des *Mars* (Abb. 35) während seiner damaligen großen Erdnähe vorgenommen und ergab mit $9\frac{1}{2}$ Bogensekunden einen für damalige Verhältnisse ausgezeichneten Wert. Von den später angewandten Methoden ist besonders interessant die der Beobachtung des Planeten *Venus* während seiner sehr selten

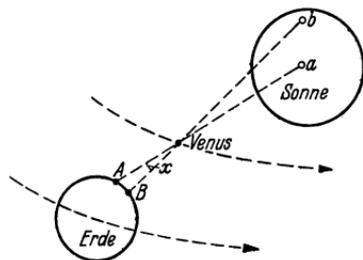


Abb. 36. Bestimmung der Sonnenparallaxe aus Vorübergängen des Planeten Venus vor der Sonnenscheibe. Von zwei nord-südlich zueinander gelegenen Erdorten *A* und *B* aus projiziert sich die Venus auf verschiedene Stellen (*a* und *b*) der Sonnenscheibe. Damit läßt sich der Winkel α , daraus die Venusparallaxe und somit nach dem dritten Keplerschen Gesetz auch die Sonnenparallaxe ableiten.

vorkommenden Vorübergänge vor der Sonnenscheibe. Von verschiedenen Erdorten aus beobachtet, erfolgt dieser Vorübergang (Venus erscheint dann als winziger schwarzer Fleck vor der Sonne) längs verschiedenen Sehnen der Sonnenscheibe (Abb. 36) — aus der Lage dieser Sehnen läßt sich die Parallaxe des Planeten leicht ableiten. Diese schöne Methode wurde schon 1639 von Halley vorgeschlagen und erstmalig bei den Venusvorübergängen von 1761 und 1769 ausprobiert. Diese Versuche ergaben als Sonnenparallaxe den Wert von $8\frac{1}{2}$ Bogensekunden. Heute benutzt man für derartige Messungen die

kleinen Planeten, die zwischen Mars- und Jupiterbahn in großer Zahl die Sonne umkreisen, und von denen einige so stark exzentrische Bahnen haben, daß sie — wie z. B. der Planet *Eros* (Abb. 37) — von Zeit zu Zeit der Erde näher kommen als jeder andere Himmelskörper, mit Ausnahme des Mondes.

Nachdem wir durch die Bestimmung der Sonnenparallaxe erfahren haben, daß die mittlere Entfernung der Sonne von uns fast das 400fache der Mondentfernung beträgt, wissen wir auch, daß ihr wirklicher Durchmesser den des Mondes um gleich viel übertreffen muß — er gibt sich damit zu rund 110 Erddurchmessern oder fast 1,4 Millionen km. Denken

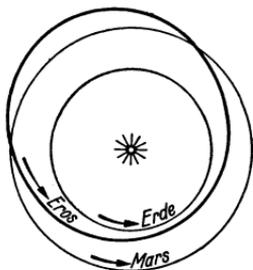


Abb. 37. Die Bahn des kleinen Planeten *Eros* ist sehr stark exzentrisch. In seiner Sonnennähe kommt er sehr dicht an die Erdbahn heran. In besonders günstigen Fällen, die etwa alle 30 Jahre eintreten, nähert er sich der Erde so weit, daß eine Parallaxenbestimmung (und damit die Bestimmung der Sonnenparallaxe) mit größter Genauigkeit möglich ist.

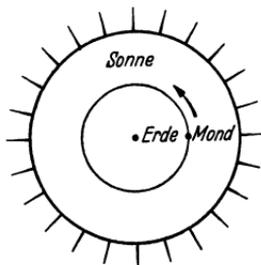


Abb. 38. Versetzt man die Erde in den Mittelpunkt der Sonne, so hat innerhalb des Sonnenkörpers auch die ganze Mondbahn bequem Platz. Der Umfang der Sonne ist fast doppelt so groß wie der der Mondbahn um die Erde.

wir uns die Erde in den Mittelpunkt der Sonne versetzt, so würde die Sonnenoberfläche auch die gesamte Mondbahn umschließen — erst ein Kreis, dessen Durchmesser den der Mondbahn um fast das Doppelte übertrifft, würde uns den Umfang des Sonnenkörpers versinnbildlichen (Abb. 38).

Diese ungeheure Größe des Sonnenballs macht uns seine zentrale Stellung im Planetensystem begreiflich. Auch die naive Vorstellung der Alten von der leichten ätherischen Beschaffenheit des Sonnenstoffes ließ sich nicht lange aufrecht erhalten, nachdem über die wirklichen Ausmessungen des

Sonnensystems und seiner Körper Klarheit entstanden war. Die Gravitationstheorie Newtons ergab nämlich mehr als nur die Erklärung der *Bewegungen* der Planeten und Monde — da sie von der Anziehungskraft der Massen ausging, erlaubte sie auch, einen unmittelbaren Vergleich zwischen den Massen der einzelnen Himmelskörper zu ziehen — die Umlaufzeiten der Trabanten um ihre Zentralkörper hängen nicht nur vom Radius ihrer Bahnen ab, sondern sind um so kleiner, je größer die Masse des Zentralgestirns ist. Aus dem Vergleich zwischen Bahngröße und Umlaufzeit der Erde um die Sonne einerseits und des Mondes um die Erde andererseits konnte man so einen Schluß ziehen auf das Massenverhältnis zwischen den Zentralkörpern dieser beiden Bewegungen — Sonne und Erde. Eine einfache Rechnung ergab, daß die Masse der Sonne 333 000mal so groß ist wie die des Erdkörpers. Wäre die Sonne in ihrem stofflichen Aufbau ebenso dicht gefügt wie die Erde, so müßte sie — entsprechend ihrem gewaltigen Rauminhalt — allerdings noch viermal so viel Masse haben, wie die obengenannte Zahl angibt; d. h. aber: die *Dichte* der Sonnenmaterie ist viermal kleiner als die der Erde, sie ist also tatsächlich lockerer aufgebaut als unser Planet — ihre Überlegenheit auch an Masse bleibt trotzdem bestehen: alle Planeten zusammengenommen wiegen noch nicht den 750. Teil der Sonnenmasse auf.

Seit dem Beginn des vorigen Jahrhunderts wendet sich die Astronomie mit wachsendem Erfolg der Erforschung der physikalischen Beschaffenheit der Sonne zu, deren Erkenntnis ausschlaggebend ist, wenn wir die gewaltigen Wirkungen verstehen wollen, die dieses Gestirn auf die Gestaltung des irdischen Lebens ausübt. Entscheidend im Verlaufe dieser Bemühungen war die Erfindung des *Spektroskops* und die Entdeckung der *Fraunhoferschen Linien* im Sonnenspektrum.

Läßt man ein schmales Bündel Sonnenstrahlen durch ein *Glasprisma* fallen, so breitet es sich fächerförmig aus und erscheint, wenn es auf einem weißen Schirm aufgefangen wird, in ein farbiges Band mit den Regenbogenfarben (rot, orange, gelb, grün, blau, violett) auseinandergezogen. Diese Erscheinung, *Spektrum* genannt, hat ihre Ursache darin, daß

das weiße Sonnenlicht ein Gemisch aus Bestandteilen verschiedener Farbe (physikalisch gesehen verschiedener Wellenlänge) ist, die durch das Prisma voneinander getrennt werden, weil die verschiedenfarbigen Strahlen verschieden stark durch das Prisma gebrochen werden, die blauen, kurzwelligeren Strahlen stärker als die roten, langwelligeren. Es gibt auch *einfarbiges* Licht. Wenn wir z. B. in einer Gasflamme Kochsalz zum Glühen bringen, so entsteht ein rein *gelbes* Licht, dessen Spektrum nicht bandförmig ist, sondern aus einer einzigen schmalen Linie im gelben Teil des Spektrums besteht. Diese gelbe Linie (genauer genommen eine sehr enge Doppellinie) tritt immer auf, wenn ein Stoff leuchtet, der, wie das Kochsalz, das Metall *Natrium* als Bestandteil enthält. Das *Spektroskop* ist nun ein Instrument, durch das man das durch einen Satz von Prismen stark auseinandergezogene Spektrum irgendeiner Lichtquelle durch ein Fernrohr in seinen feinsten Einzelheiten betrachten kann. Durch Laboratoriumsversuche hat man festgestellt, welche Linien und Linienserien im Spektrum entstehen, wenn die verschiedensten Stoffe zum Glühen gebracht werden, und man benutzt dies schöne Instrument daher mit großem Erfolg, um das Vorhandensein irgendwelcher Stoffe in glühenden Substanzen nachzuweisen.

Im Spektrum des Sonnenlichts wurden am Anfang des vorigen Jahrhunderts *dunkle* Linien entdeckt, die etwas später (1814) durch *Fraunhofer* genau studiert und beschrieben wurden. Diese *Fraunhoferschen* Linien stimmen ihrer Lage im Spektrum nach genau mit den hellen Linien überein, die man im Laboratorium an leuchtenden Stoffen beobachtet hatte. Man fand bald durch Versuche die Erklärung für diese „Umkehr der Spektrallinien“: Jeder Stoff, der in gasförmig-glühendem Zustand Licht von einer bestimmten Wellenlänge (Farbe) auszusenden imstande ist, ist fähig, im abgekühlten Zustande gerade dies Licht besonders stark zu absorbieren. Diese einfache physikalische Feststellung führte zu außerordentlich aufschlußreichen Folgerungen über die Natur unserer Sonne. Die Sonne besteht in ihren tieferen Schichten aus glühenden Gasen der verschiedenartigsten chemischen Beschaffenheit. Das Licht, das aus den Tiefen des

Sonnenkörpers nach außen dringt, muß aber nun durch eine vergleichsmäßig viel „kühlere“ Oberschicht, eine Art Atmosphäre, hindurch, in der nun diejenigen Wellenlängen des Lichtes absorbiert, d. h. verschluckt werden, die den in der Sonnenatmosphäre vorhandenen Stoffen entsprechen. Die dunklen Fraunhoferschen Linien geben uns demnach von der stofflichen Zusammensetzung der Sonnenatmosphäre Kunde — wir finden in ihr die verschiedensten chemischen Elemente wieder, besonders Wasserstoff, Kalzium, Magnesium, Eisen, aber auch fast alle übrigen auf der Erde bekannten Stoffe. Einer von ihnen, das Edelgas *Helium* (das als Füllung von Luftschiffen bekannt ist), wurde sogar erst nachträglich auf der Erde angefundenes, nachdem man seine Existenz bereits spektroskopisch auf der Sonne festgestellt hatte.

Die Existenz der Fraunhoferschen Linien allein ließ nun schon gewisse Schlüsse auf die Höhe der *Temperatur* zu, die auf der Sonne herrschen muß — sie muß wenigstens in den Schichten, aus denen das Sonnenlicht hervordringt, diejenigen Hitzegrade übersteigen, bei denen die in Frage stehenden Stoffe in den gasförmigen Zustand übergehen. Sie muß also mehrere tausend Grade betragen. Eine einfache Überlegung zeigt aber, daß es möglich sein muß, aus der Beschaffenheit des Spektrums noch mehr über die Sonnentemperatur zu erfahren. Wenn wir einen festen Körper, etwa ein Stück Eisen, erhitzen, so beginnt er bei Temperaturen über 500°C in Rotglut zu leuchten. Bei höherer Temperatur wird die Färbung der Glut gelblich, schließlich rein weiß und bei ganz extrem hohen Temperaturen etwas bläulich. Diese fortschreitende Farbänderung prägt sich noch deutlicher in der Gestalt des *Spektrums* aus: Die Helligkeit der einzelnen Spektralteile ist nicht gleich, vielmehr gibt es immer ein Spektralgebiet, dessen Helligkeit am größten ist. Bei Rotglut, also bei verhältnismäßig niedriger Temperatur, liegt das Maximum der Helligkeit im roten Teil des Spektrums, bei wachsender Temperatur wandert es immer weiter nach dem blauen Ende zu (Abb. 39), und die Physiker haben durch Versuche und in Übereinstimmung damit durch theoretische Überlegungen ein

Gesetz gefunden, nach dem aus der Helligkeitsverteilung im Spektrum auf die Temperatur der leuchtenden Substanz geschlossen werden kann. Für die Temperatur der lichtaus-sendenden Schicht der Sonne, der sogenannten *Photosphäre*, findet man hiernach Mindestwerte von etwa 6000° .

Wir sind nach diesen Feststellungen in der Lage, die Energiemengen, die von der Sonne in Form von *Strahlung* in den Weltenraum verbreitet werden, ziemlich genau abzuschätzen. Diese Energiemengen sind ungeheuer groß und sind uns ein Sinnbild der verschwenderischen Fülle der Natur. Denn nur ein winziger, fast verschwindend kleiner Teil der Sonnen-

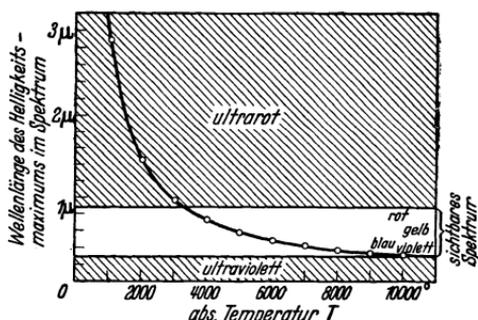


Abb. 39. Lage des Helligkeitsmaximums im Spektrum von Sternen verschiedener Oberflächentemperatur. Unten: Absolute Temperatur bis 10000° , links: Wellenlänge des Helligkeitsmaximums im Spektrum, ausgedrückt in μ ($1\mu = 1/1000$ mm). Bei Sternen von $3-4000^{\circ}$ liegt der hellste Teil des Spektrums im Roten, bei $5-6000^{\circ}$ im Gelben, bei $7-8000^{\circ}$ im Blauen usw.

strahlung wird von den Planeten aufgefangen und dient zu deren Beleuchtung und Erwärmung — die Erde z. B. erhält nur wenig mehr als den zweimilliardsten Teil der gesamten Sonnenenergie. Alles andere breitet sich mit Lichtgeschwindigkeit nach allen Richtungen hin aus und verliert sich in den unendlichen Weiten des Raumes. Man hat gemessen, daß auf jeden Quadratzentimeter der Oberfläche der Erde bei senkrechter Einstrahlung rund zwei Grammkalorien Energie in der Minute fallen (das entspricht der Wärmemenge, die notwendig ist, um 2 g Wasser um 1° C zu erwärmen). Aus dieser Zahl läßt sich berechnen, daß die gesamte Energie-

menge, die die Sonne *in jeder Sekunde* abgibt, den unvorstellbar großen Betrag von 100 Quadrillionen¹ Grammkalorien erreicht. Man fragt sich erstaunt, wie lange selbst ein Kraftwerk von der ungeheuren Größe unserer Sonne imstande ist, eine solche Belastung zu ertragen, und wie lange es wohl dauern wird, bis die gewaltigen Energievorräte, über die unser Zentralgestirn verfügen muß, erschöpft sein werden, wenn diese Kraftverschwendung Jahrtausende, ja Millionen von Jahren hindurch vor sich geht. Wir stehen hier tatsächlich vor einem der größten Rätsel der Natur. Wenn wir annehmen, daß die Sonne den Wärmeverlust, den sie ständig erleidet, dadurch wieder ausgleicht, daß ihr Körper sich ständig zusammenzieht und dadurch Wärme neu erzeugt, wird sie ihre jetzige Strahlungsbilanz kaum länger als 10 Millionen Jahre hindurch aufrechterhalten können. Das scheint uns kurzlebigen Geschöpfen eine lange Zeit zu sein — wenn wir aber dagegen halten, daß die großen Entwicklungsperioden, die unsere Erde durchgemacht hat, viele Hunderte von Jahr-millionen gedauert haben, so erscheinen uns jene 10 Millionen Jahre nur wie eine kurze Episode im Weltenleben. Wir müssen daher annehmen, daß die Sonne noch über andere Energiequellen von unfaßbarem Reichtum verfügt. Die moderne Physik lehrt uns die wahrscheinlichste Lösung dieses Rätsels: Die Entdeckung des Radiums und der radioaktiven Stoffe hat uns gelehrt, daß in den Bausteinen der Materie selbst, den *Atomen*, Energie in konzentriertester Form aufgespeichert ist. Durch die Zertrümmerung der Atome, die im Innern der Sonne infolge der dort herrschenden abnormen Temperaturen und Druckkräfte sicherlich begünstigt wird, mögen Energiemengen ständig erzeugt werden, die den Bestand der Sonne als Licht- und Wärmespenderin noch für lange Zeiträume geologischen Ausmaßes, vielleicht für Billionen von Jahren, sicherstellen.

Nichts, was auf der Erde lebt, könnte bestehen, nichts, was auf ihr geschieht, vor sich gehen, wenn nicht die Sonne ständig den Betriebsstoff dazu liefern würde. Diese Strahlungsenergie, jene 2 Grammkalorien pro Quadratzentimeter

¹ 1 Quadrillion = 1 000 000 000 000 000 000 000 000.

und Minute, unterhält alles Leben und Weben auf unserem Planeten. An der Erdoberfläche trifft allerdings nur ein Teil dieser Energiemenge ein, das übrige wird unterwegs durch die Atmosphäre absorbiert und zur Erwärmung der Luftmassen mit verwendet. Die auf den Erdboden gelangende Strahlung erwärmt diesen, wird aber zum Teil wieder in die Luft hinaus zurückgeworfen. Ein Teil der zur Erde gelangenden Energie findet seinen Weg somit wieder in den Weltraum hinaus und geht uns verloren — der auf der Erde verbleibende Teil setzt sich in Wärme und andere Energieformen um und liefert so den Betriebsstoff für die Aufrechterhaltung aller irdischen Vorgänge, gleichviel, ob sie der lebendigen oder der toten Natur angehören¹. Mit der Erwärmung allein ist es ja nicht getan. Die erwärmten Luftmassen werden in Bewegung gebracht, Schnee und Eis schmelzen, die Gewässer verdunsten und erfüllen die Atmosphäre mit Wasserdampf, der sich an anderen Stellen wieder zu Wolken und Nebel verdichtet oder als Regen, Schnee und Hagel niederfällt. So entsteht ein ewiger Kreislauf von Luft- und Meeresströmungen und der Kreislauf des Wassers, der die Erde fruchtbar macht, Bäche und Ströme fließen läßt und somit die Erdrinde erst zu einem lebenden und sich ständig verändernden und erneuernden Organismus macht.

Wir haben oben gesehen, daß in Zeiträumen, die wir Menschen nicht zu überblicken vermögen, ein Nachlassen dieser lebenspendenden Tätigkeit unserer Sonne nicht zu befürchten ist. Selbst wenn jene 2 Grammkalorien pro Quadratcentimeter in der Minute, die man als „Solarkonstante“ zu bezeichnen pflegt, keine wirkliche *Konstante* (d. h. eine sich immer gleichbleibende Größe) sein sollte, sondern im Laufe der Jahr-millionsen langsam abnehmen würde, so wäre uns das eine Feststellung von geringem Interesse. Weit wichtiger wäre es, zu wissen, ob neben einer solchen stetigen, unmerklich kleinen Abnahme der Solarkonstante noch größere Schwankungen von fühlbarem Betrage und kürzerer oder längerer Dauer auftreten, die sich zwar in ihrer Wirkung mit der Zeit

¹ Näheres über den „Wärmehaushalt der Erde“ findet der Leser in Bd. 15 dieser Sammlung: H. v. Ficker, Wetter und Wetterentwicklung.

immer wieder ausgleichen, aber doch den gesamten Wärmehaushalt der Erde merklich in Unordnung bringen könnten.

Wenn wir diese Frage aufwerfen, denken wir unwillkürlich an die vergangenen erdgeschichtlichen Perioden, in denen Klimaverhältnisse auf der Erde geherrscht haben müssen, die von den unsrigen wesentlich verschieden waren. Insbesondere denken wir an die *Eiszeiten*, die der jüngeren Vergangenheit der Erde angehören, und bis in die wir die Vorgeschichte der Menschheit noch zurückverfolgen können. Theoretisch könnten solche Perioden der Vereisung großer Gebiete der Erdoberfläche dadurch entstanden sein, daß die Energiestrahlung der Sonne langperiodischen Schwankungen unterworfen war.

Leider ist diese Frage auf direktem Wege nicht zu beantworten, denn wir wissen zwar von den Menschen der Eiszeit, daß sie das Mammut und den Höhlenbären jagten, aber Messungen der Solarkonstante sind uns von ihnen nicht überliefert worden. Zudem sind mit großer Wahrscheinlichkeit andere Ursachen für den Temperaturrückgang mancher Gebiete während der Eiszeiten maßgebend gewesen: eine „säkulare“, d. h. erst im Laufe langer Zeiträume merklich werdende Veränderung der *Schiefe der Ekliptik*, jenes Winkels, um den die Erdäquatorebene zu der Erdbahnebene schiefgestellt ist. Wir haben früher festgestellt (S. 94), daß dieser Winkel unveränderlich sei — das ist nicht ganz richtig, denn die Störungen der anderen Planeten rufen langsame Veränderungen dieser Größe hervor, die für die Gestaltung der Jahreszeiten auf der Erde verantwortlich ist. Auch die *Exzentrizität* der Erdbahnellipse ist solchen säkularen Störungen unterworfen, damit aber der Unterschied zwischen den Entfernungen der Sonne in ihrer erdnächsten und erdfernsten Stellung. Nach dem Newtonschen Gravitationsgesetz lassen sich alle Veränderungen, die mit der Erde als Planeten vorgegangen sind, von der Gegenwart bis in die fernste Vorzeit durch astronomische Rechnung zurückverfolgen — diese gewaltige Arbeit ist vor nicht langer Zeit von dem jugoslawischen Astronomen Milankovitsch unternommen worden. Er verfolgte die Störungen der Erdbahnexzentrizität und der

Schiefe der Ekliptik 650 000 Jahre zurück und berechnete die Veränderungen, die infolge der veränderten Einstrahlungsverhältnisse die mittlere Jahrestemperatur auf verschiedenen Breitengraden während dieses Zeitraumes erlitten haben müßte — das Ergebnis stimmte mit den Erfahrungen der Geologen ausgezeichnet überein und ergab für mitteleuropäische Verhältnisse vier getrennte Zeiträume mit extrem ungünstiger Einstrahlung, die den vier aus der Geologie bekannten Eiszeiten entsprechen. Neben dieser Erklärungsmöglichkeit großer Klimaschwankungen müssen wir noch eine andere berücksichtigen, von der wir im nächsten Kapitel mehr erfahren werden: die Veränderungen der Lage der Erdpole im Erdkörper selbst, die unbedingt stattgefunden haben müssen, denn sonst wäre es unmöglich, daß in arktischen Gebieten (Spitzbergen!) *Kohle* gefunden wird, die bekanntlich die Überreste einer vorweltlichen tropischen Vegetation darstellt.

Die *Messungen* der Solarkonstante werden erst seit wenigen Jahrzehnten systematisch betrieben, und so sind unsere Erfahrungen über tatsächliche Schwankungen der Energieabstrahlung der Sonne nicht eben übermäßig reichhaltig. Die Werte, die man für diese wichtige Konstante erhalten hat, stimmen allerdings nicht alle überein, die Unterschiede sind aber wohl hauptsächlich auf Beobachtungsfehler zurückzuführen, die sich bei so schwierigen und feinen Messungen nicht ganz vermeiden lassen. Immerhin hat man *eine* Schwankung der Solarkonstante festgestellt, die als wirklich anzusehen ist: eine allerdings sehr kleine Schwankung, die eine etwa 11jährige Periode besitzt und mit dem periodischen Auftreten besonders zahlreicher *Sonnenflecke* genau parallel verläuft.

Daß Solarkonstante und Sonnenflecke in ursächlichem Zusammenhang miteinander stehen, ist fast unmittelbar einleuchtend. Die Sonnenflecke wurden 1610 von Galilei entdeckt, als er sein Fernrohr das erstmal auf die Sonne richtete. Zu gleicher Zeit wurden sie von Fabricius, dem Sohn eines ostfriesischen Pfarrers, ferner von dem Jesuitenpater Christoph Scheiner gesehen. Daß sie fast gleichzeitig von so vielen Beobachtern unabhängig gefunden wurden, darf

uns nicht wundern, denn sie waren für das 1610 erfundene Fernrohr eines der auffälligsten Beobachtungsobjekte. Scheiner glaubte anfangs, es handle sich um neue, bis dahin unbekannte Planeten, die die Sonne in großer Nähe umkreisten; seine Ansicht wurde aber von Galilei bestritten, der die Flecke als Gebilde der Sonnenoberfläche nachwies und wohl auch bald ihre Veränderlichkeit und Vergänglichkeit bemerkte. Von späteren Beobachtern wurden sie als trichterartige Vertiefungen der Sonnenoberfläche erkannt. Heute wissen wir, ohne daß wir behaupten dürfen, über den Aufbau dieser Gebilde vollständig Bescheid zu wissen, daß die Flecke gewaltige Wirbelscheinungen sind, die nicht nur mechanischen Charakter haben, sondern auch von elektromagnetischen Wirkungen größten Ausmaßes begleitet werden.

Die Veränderlichkeit der Fleckenzahl in den einzelnen Jahren muß schon den ersten Beobachtern aufgefallen sein, die periodische Wiederkehr besonders fleckenreicher Jahre in einem ungefähr 11jährigen Zyklus, die mit Jahren fast völliger Fleckenlosigkeit abwechseln, wurde zuerst von Schwabe in einer Veröffentlichung bekanntgegeben, die 1843 erschien. Seitdem ist die Sonne regelmäßiger beobachtet worden, und wir verfügen heute über ein lückenloses Material, das uns den periodischen Charakter dieser Erscheinung sehr deutlich macht. Die Periode, in der die Zeiten größter Fleckenhäufigkeit wiederkehren, ist allerdings nicht unveränderlich — sie hat im Laufe der letzten 180 Jahre (so weit reichen einigermaßen sichere Beobachtungen zurück) mindestens zweimal ihre Länge merklich geändert — während sie zur Zeit ziemlich genau 11,4 Jahre beträgt, waren zeitweise Perioden von $9\frac{1}{2}$ und $12\frac{1}{2}$ Jahren maßgebend.

Ein Einfluß der Sonnenfleckenzahl auf die Energieausstrahlung der Sonne wäre nicht verwunderlich, denn man muß die Flecke, die oft einen Flächenraum überdecken, der die Erdoberfläche um ein Vielfaches übertrifft, als Gebiete tieferer Temperatur und daher geringeren Ausstrahlungsvermögens ansehen. Es wäre demnach zu erwarten, daß in den Jahren großer Fleckenhäufigkeit die Solarkonstante besonders klein ist. Die genauen Untersuchungsreihen der letzten Jahrzehnte

haben das Gegenteil ergeben — in den Jahren des Fleckenmaximums ist die durchschnittliche Energiestrahlung der Sonne größer als in den fleckenarmen Jahren (Abb. 40). Dies Ergebnis überrascht zunächst, findet aber seine Erklärung darin, daß gleichzeitig mit den Flecken auch Gebilde von übernormaler Helligkeit und höherer Temperatur, die sogenannten *Fackeln*, in größerer Zahl auftreten und den Strahlungsverlust wieder reichlich ausgleichen. Alles in allem scheinen Flecke und Fackeln Anzeichen einer erhöhten Bewegung

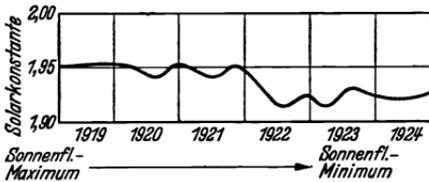


Abb. 40. Veränderung der Solarkonstante (nach Abbot). Während des Sonnenfleckenminimums von 1922—24 ist die Solarkonstante merklich kleiner als während des vorhergehenden Maximums, das 1917 seinen Höhepunkt erreichte.

in der Sonnenatmosphäre zu sein, sichtbare Merkmale stürmischer, von großen Energieumsetzungen begleiteter Vorgänge, die ihren Ursprung wahrscheinlich tief im Innern des Sonnenballs haben und nun von Zeit zu Zeit, in gewissen rhythmischen Intervallen, zum Ausbruch kommen.

Wenn wir uns die Verhältnisse so klarmachen, fällt es uns nicht schwer, einzusehen, daß solche Ausbruchsperioden mit einer erhöhten Abgabe von Energie verbunden sind.

Diese Schwankungen der Solarkonstante in 11-jährigem Rhythmus müßten, so geringfügig sie auch zahlenmäßig sind, doch ihre Wirkung auf Erden zeigen. In der Tat ist nachgewiesen, daß die fleckenreichen Jahre durchschnittlich etwas wärmer sind, doch beträgt die Größe der Schwankung kaum mehr als $\frac{1}{2}^\circ$. Es verhält sich mit dem Einfluß der Sonnenflecken auf die Temperatur also ähnlich wie mit dem Gezeiten einfluß des Mondes auf den Luftdruck: er geht in den größeren unregelmäßigen Veränderungen unter und ist höchstens in Gegenden mit besonders gleichmäßigem Klima unmittelbar zu erkennen, z. B. auf Samoa, wie Abb. 41 an dem übereinstimmenden Verlauf der Sonnenfleckenkurve und der Aufzeichnung der jährlichen Temperaturmittelwerte zeigt.

Manche Meteorologen wollen auch in einigen Gegenden Zu-

sammenhänge zwischen Sonnenfleckenhäufigkeit und *Niederschlägen* festgestellt haben. Auch dieser Zusammenhang ist aber, wo überhaupt vorhanden, sehr lose — es ist also nicht ohne weiteres möglich, aus ihm etwa die Aufeinanderfolge von trockenen und feuchten Zeiträumen vorauszusagen, wie es voreilige Propheten gerne tun. Das einzige, was in dieser Hinsicht wirklich gesichert erscheint, ist die Zunahme der Lufttrübung durch Wasserdampf in fleckenreichen Jahren, die daraus zu erklären ist, daß die Sonnenflecke elektrisch geladene Teilchen in großen Mengen ausschleudern, die dann auch in die Erdatmosphäre gelangen. Solche Teilchen vermögen die Luftmoleküle elektrisch aufzuladen und damit zur Bildung von Kondensationskernen des Wasserdampfs geeignet zu machen. D. h. mit anderen Worten: Solche mit freier elektrischer Ladung versehenen Luftteilchen vermögen den in der Luft vorhandenen Wasserdampf an sich zu ziehen, zu verflüssigen und in Tropfenform an sich zu fessein. In den meisten Fällen wird dies allerdings nicht einmal zu Wolkenbildung, geschweige denn zu Regenfällen führen, sondern lediglich die Durchsichtigkeit der Atmosphäre leicht trüben.

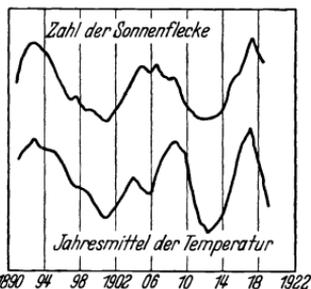


Abb. 41. Zusammenhang zwischen Sonnenfleckenzahl und der Temperatur in Samoa (nach Beobachtungen von Angenheister). Die Temperaturkurve ist umgekehrt, d. h. den nach oben gerichteten Spitzen entspricht eine tiefere, den nach unten gerichteten eine höhere Temperatur. Doch beträgt die Gesamtschwankung nur etwas über 1°C . In Samoa ist demnach die Temperatur zur Zeit des Sonnenfleckenmaximums am niedrigsten. An anderen Orten ist es umgekehrt.

Man sieht hieraus, daß der Einfluß der Sonnenflecken auf das irdische Wetter zwar vorhanden, aber außerordentlich klein und fast bedeutungslos ist. Im nächsten Kapitel werden wir aber erfahren, daß noch andere Wirkungen der Sonnentätigkeit auf irdische Vorgänge bestehen, die sehr viel deutlicher in Erscheinung treten.

VIII. Erdpole und Erdmagnetismus.

Zwei ausgezeichnete Punkte gibt es auf der Oberfläche der Erde, die sich in mehr als einer Hinsicht merkwürdig verhalten und deshalb die Aufmerksamkeit der Menschheit von jeher auf sich gezogen haben, um so mehr, als sie in Gegenden liegen, die wegen ihrer ungünstigen klimatischen Beschaffenheit schwer zugänglich sind: die beiden *Pole*, die Endpunkte der Rotationsachse der Erde. Nord- und Südpol liegen inmitten von weiten Regionen ewigen Eises, und erst im Anfang unseres Jahrhunderts ist es nach vielen opferreichen Versuchen und Fehlschlägen der Zähigkeit und dem Mute kühner Forscher gelungen, bis zu ihnen vorzudringen. So wissen wir heute, daß der Nordpol inmitten eines von Treibeisschollen gewaltigen Ausmaßes erfüllten Polarmeeres liegt, der Südpol dagegen auf einem vereisten und vergletscherten Hochplateau, das — von mächtigen Gebirgszügen durchbrochen — den Meeresspiegel um mehr als 3000 m überragt. Der *Nordpol*, den Nansen auf seiner berühmten Expedition im Jahre 1895 nicht erreichte, wurde 1909 von dem Amerikaner Peary zuerst betreten. Im Dezember 1911 drang Amundsen bis zum *Südpol* vor — wenige Wochen später auch Scott, der auf der Rückkehr im Schneesturm einen tragischen Tod fand.

Die Pole sind Unstetigkeitspunkte in mehrfacher Beziehung. Im vierten Kapitel erfuhren wir bereits, daß sie keine geographische Länge haben, weil in ihnen alle Längengrade der Erde zusammenlaufen. Sie haben deswegen auch keine Himmelsrichtungen im üblichen Sinne — am Nordpol ist jede Richtung südlich, vom Südpol aus kann man nur nach Norden marschieren, welchen Kurs man auch einschlägt. Wenn man den Nordpol von irgendwoher erreichen will, muß man in nördlicher Richtung gehen — wenn man ihn aber, ohne die Marschrichtung zu wechseln, überschreitet, springt die Himmelsrichtung des Weges plötzlich auf Süden über. Die Pole haben auch keine *Ortszeit*. Da der Himmelspol sich an ihnen genau im Zenit befindet, beschreiben die Sterne genau

horizontal gelegene Kreise im Verlauf ihrer täglichen Bewegung. Ihre Höhe über dem Horizont bleibt daher für den Beobachter am Nord- oder Südpol ständig die gleiche, sie gehen weder auf noch unter, sie erreichen weder einen Höchst- noch einen Tiefstand, dessen Beobachtung eine Zeitbestimmung ermöglichen würde. Auch die Sonne beschreibt ihre tägliche Bahn in Kreisen, die zum Horizont parallel verlaufen (Abb. 42), ein Wechsel zwischen Tag und Nacht findet nicht mehr statt — nur die jährliche Bewegung der Sonne durch den Tierkreis bewirkt, daß sie im Laufe eines Jahres einmal auf- und einmal untergeht: der Himmelsäquator nämlich fällt an den Polen mit dem Horizont zusammen — jedesmal, wenn die Sonne auf ihrer jährlichen Bahn den Himmelsäquator überschreitet, also zur Zeit der Frühlings- und Herbst-Tag- undnachtgleiche, überschreitet sie auch den Horizont in der einen oder der anderen Richtung. An den Polen haben Tag und Nacht daher die Dauer eines halben Jahres. Wenn bei uns in Europa Sommer ist, liegt das Gebiet um den Nordpol in ständigem Sonnenschein, der Südpolarkontinent dagegen in dunkler Nacht. Die größte Höhe, zu der im Polarsommer die Sonne über dem Horizonte emporsteigt, beträgt $23\frac{1}{2}^{\circ}$; sie entspricht genau der Schiefe der Ekliptik. In dieser verhältnismäßig geringen Höhe reicht die Kraft der Sonnenstrahlung nicht aus, um die gewaltigen, in der kalten Polarnacht ent-

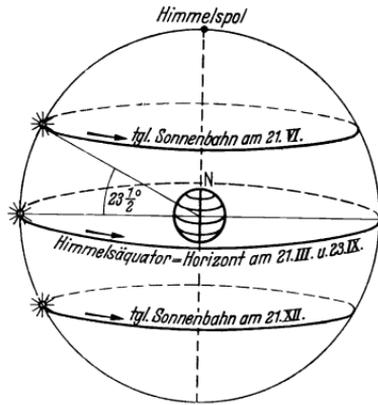


Abb. 42. Himmel und Sonnenbewegung am Nordpol der Erde. Der Himmelspol fällt mit dem Zenit, der Himmelsäquator mit dem Horizont zusammen. Die Sonne wandert wegen der Erddrehung scheinbar auf Kreisen parallel zum Horizont um den Himmel. Da sie sich auf ihrer jährlichen Bahn durch den Tierkreis bis zu $23\frac{1}{2}^{\circ}$ nördlich (Sommer) und südlich (Winter) vom Äquator entfernt, bleibt sie im Sommerhalbjahr stets über, im Winterhalbjahr stets unter dem Horizont. Zur Zeit der Tag- und Nachtgleichen umwandert sie den Horizont.

standenen Eismassen zu schmelzen — so steigt auch die Lufttemperatur im Polarsommer nur selten über den Gefrierpunkt an, während in der langen Winternacht das Thermometer oft mehr als 40° unter den Nullpunkt sinkt.

Wir haben schon im vorigen Kapitel die Frage aufgeworfen, ob die Polargebiete mit ihrem unwirtlichen Klima von jeher die Lage auf der Oberfläche unseres Planeten eingenommen haben, die sie heute innehalten. Das Vorhandensein mächtiger Kohlenflöze auf Spitzbergen in mehr als 80° nördlicher Breite deutet darauf hin, daß diese Gegend vor vielen Millionen von Jahren, in der Steinkohlenzeit, von tropischen Urwäldern bestanden war, daß also damals die Erdpole und damit die Erdachse selbst eine ganz andere Lage im Erdkörper eingenommen haben müssen, als dies jetzt der Fall ist. Die Frage, ob wir eine solche *Wanderung der Erdpole* in geologischen Zeiträumen mit unseren sonstigen Anschauungen über den Mechanismus der Erdrotation in Einklang bringen können, interessiert Geologen, Geophysiker und Astronomen in gleichem Maße. Die Geologen stellten zunächst durch ihre Funde die Tatsache selbst fest, an der wohl nicht gezweifelt werden darf — die Astronomen aber fanden in ihren genauen Beobachtungen keinerlei Hinweise auf eine noch so geringfügige Neigung der Erdachse zu einem so extravaganten Verhalten. Sie haben zwar schon seit vielen Jahrzehnten erkannt, daß die Lage der Erdachse im Erdkörper und damit die der Pole auf der Erdoberfläche nicht ganz fest ist. Solche Schwankungen der Rotationsachse eines sich drehenden Körpers sind nach den Berechnungen der theoretischen Physik denkbar, und schon der große Mathematiker Euler (1707—1783) hat darauf hingewiesen, daß die Erdachse Schwankungen ausführen könne, die sich darin äußern würden, daß die Pole nicht feststehen, sondern kreisförmige Bahnen auf der Erdoberfläche beschreiben. Die Kreise sollten aber nur geringen Durchmesser haben, und die Umlaufzeit sollte nur 305 Tage betragen.

Wenn solche oder ähnliche Polschwankungen wirklich auftreten, müssen sie sich den Astronomen dadurch verraten, daß die mit genauen Instrumenten gemessenen geographischen

Breiten (Polhöhen) der Sternwarten nicht immer den gleichen Wert ergeben, sondern im Laufe der Zeit hin und her schwanken. Als am Ende des vorigen Jahrhunderts lange und genügend genaue Beobachtungsreihen über die Polhöhe verschiedener Sternwarten vorlagen, gelang es dem deutschen Astronomen K ü s t n e r, derartige Schwankungen von allerdings sehr kleinem Betrage sicher nachzuweisen, und bald darauf leitete der Amerikaner Ch a n d l e r die nach ihm benannte Ch a n d l e r s c h e Periode der Polschwankungen ab, die aber nicht, wie Euler vermutet hatte, 305, sondern 428 Tage betrug. Trotzdem handelt es sich hier um die von Euler vorausgesagte Erscheinung — daß die Periode länger ist, beruht, wie wir heute wissen, darauf, daß Euler die Erde als vollkommen starren Körper ansah, während sie in Wirklichkeit elastisch ist.

Eigentlich ist nun diese ganze Polschwankung eine Erscheinung, die des Aufhebens, das von ihr gemacht wird, gar nicht wert ist. Die Veränderungen der Polhöhe, die von den Astronomen beobachtet wurden, ergaben Beträge von insgesamt wenig mehr als einer halben Bogensekunde. 1 Bogensekunde entspricht auf der Erdoberfläche (s. S. 57) einer Länge von etwa 30 m — die Wanderungen, die der Erdpol im Laufe der Zeit ausführt, erfolgen demnach innerhalb eines Kreises von höchstens 20 m Durchmesser. Erstaunlich ist hierbei eigentlich nur die Genauigkeit astronomischer Beobachtungskunst (s. auch Abb. 43).

Für das oben angeschnittene Problem der *Polwanderung* über weite Gebiete der Erdoberfläche geben die astronomisch gemessenen Polschwankungen keinen Anhaltspunkt und keine Erklärung. Sie deuten aber wenigstens darauf hin, daß die aus der Theorie der Kreiselbewegung folgende kreisförmige Polbewegung nicht allein für die Verlagerung der Erdachse maßgebend sein kann — die Abb. 43 zeigt, daß der Pol keineswegs auf einem Kreise wandert, sondern daß seine Bewegung durch andere Ursachen gestört sein muß. So stellte schon Ch a n d l e r fest, daß die Polhöhenschwankungen nicht nur nach der 428tägigen Ch a n d l e r s c h e n Periode vor sich gehen, sondern daß daneben auch eine Schwankung von

jährlicher Periode besteht, die sich der erstgenannten Kreisbewegung überlagert. Man erklärt diese Jahresperiode mit den im Laufe des Jahreszeitenwechsels auf der Erdoberfläche vor sich gehenden Massenverlagerungen, die teils atmosphärischen Vorgängen (den Luftmassentransporten) zuzuschreiben sind, teils auch den alljährlichen Schmelzprozessen, durch die die Verteilung der arktischen Eismassen sich ändert. Jede derartige Verlagerung von Massen, so geringfügig sie auch im

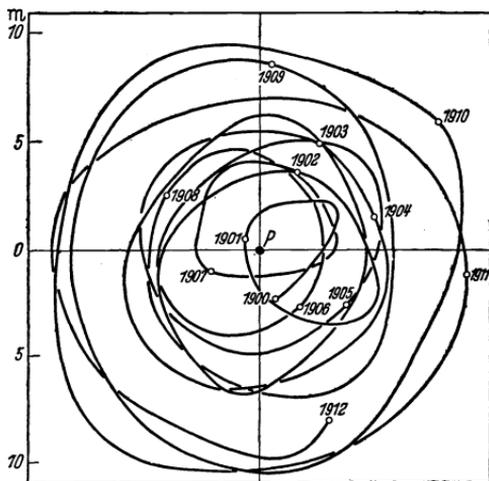


Abb. 43. Bahn des Nordpols um die mittlere Pollage (P) während der Jahre 1900—1912 (nach den Angaben von Wanach). Die Kreise mit den Jahreszahlen bedeuten die Lage des Pols am Jahresanfang. Der ganze Vorgang spielt sich innerhalb eines Kreises von 10 m Radius ab.

Vergleich zur Gesamtmasse der Erde sein mag, kann die Rotationsverhältnisse des Erdkörpers ändern und damit auch zu einer Verlagerung der Drehungsachse beitragen. Es fragt sich nun, ob in geologischen Zeiträumen, d. h. in vielen Jahrmillionen, nicht auch Massenverschiebungen von weit größerem Ausmaß stattgefunden haben, die eine umwälzende Veränderung der Pollage zur Folge gehabt haben können. Der bekannte deutsche Geophysiker Alfred Wegener, der 1930 auf einer Grönlandexpedition den Tod fand, hat eine Theorie aufgestellt, nach der die *Kontinente* der Erde nicht starr miteinander verbunden sind, sondern als gewaltige Schollen auf zähflüssigem Untergrunde wie Inseln schwimmen

und ihre Lage zueinander ständig verändern. Er war z. B. der Ansicht, daß in früheren Erdperioden Südamerika und Afrika miteinander zusammenhängen — der ähnliche Verlauf ihrer atlantischen Küsten macht das plausibel. In der Tat scheint auch heute noch der Abstand zwischen beiden Erdteilen sich dauernd zu vergrößern, wenn auch in Jahrhunderten nur um wenige Meter — die Astronomen haben nämlich gemessen, daß der Unterschied der geographischen Länge zwischen europäischen und südamerikanischen Sternwarten langsam im Zunehmen begriffen ist. In früheren Zeiträumen der Erdgeschichte mag eine solche Kontinentalwanderung noch rascher vor sich gegangen sein, und mag die mit ihr verbundene Massenverlagerung zur allmählichen Umgestaltung der Rotationsverhältnisse in jenem Ausmaß geführt haben, das die geologischen Befunde wahrscheinlich machen — der Erstarrungsprozeß der Erde war damals noch nicht so weit vorgeschritten wie heute, und der rotierende Erdkörper vermochte sich in seiner Gestaltung dieser Veränderung noch leichter und rascher anzupassen als heute. Die Zeit der großen Polwanderungen, die das Antlitz der Erde grundlegend umgestalten, ist vielleicht schon seit Jahrhunderttausenden zum Abschluß gekommen — was wir heute noch beobachten, ist nur das letzte zitternde Schwanken der Erdachse um die Gleichgewichtslage, die sie in einer ruhigen Entwicklungsperiode gefunden hat und kaum wieder verlassen wird, wenn nicht gewaltige Naturkatastrophen, die Erdteile versinken und entstehen lassen, sie erneut aus diesem Gleichgewicht aufstören.

Eine letzte Erinnerung an die Zeit, als die Erdachse noch eine andere Lage im Erdkörper hatte, mag die merkwürdige Tatsache bedeuten, daß die *magnetischen* Erdpole von den geographischen ganz erheblich abweichen. Im dritten Kapitel haben wir bereits von der Eigenschaft der Magnetnadel gesprochen, *ungefähr* die Nord-Süd-Richtung anzuzeigen, jene Eigenschaft, die uns den *Kompaß* zu einem auf Land- und Seereisen so nützlichen und unentbehrlichen Orientierungsmittel macht. *Die Erde ist ein Magnet*. Als magnetischer bzw. magnetisierbarer Stoff ist uns besonders das *Eisen* bekannt, das wahrscheinlich als schweres Metall einen erheb-

lichen Anteil am Aufbau des innersten *Erdkerns* hat. Im Erdkern haben wir also den Sitz der magnetischen Kräfte zu suchen, die sich uns an der Erdoberfläche durch die Erzeugung eines *magnetischen Feldes* von bestimmter Stärke und Ausrichtung zu erkennen geben. Das Feld eines starken Magneten hat die Eigenschaft, in weiter Umgebung jeden freibeweglichen magnetischen Versuchskörper, etwa eine Kompaßnadel, in die Richtung seiner „Kraftlinien“ zu zwingen,

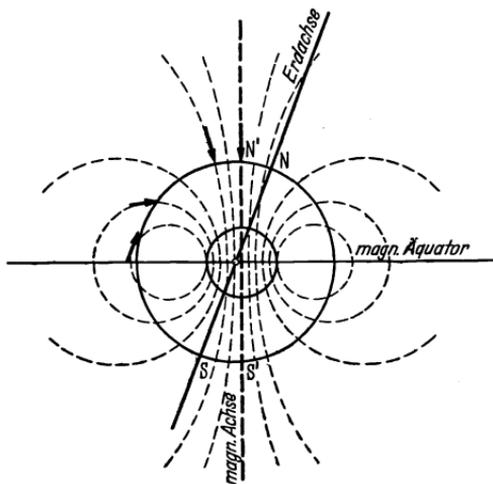


Abb. 44. Kraftlinien des erdmagnetischen Feldes. Die magnetische Achse ist gegen die Rotationsachse der Erde geneigt. Die magnetischen Pole (N' , S') fallen daher mit den geographischen Polen (N , S) nicht zusammen. Ebenso liegt der (durch den inneren Kreis angedeutete) magnetische Erdkern etwas exzentrisch zur Erdfigur. Die Pfeile deuten die Richtung der magnetischen Kraft in verschiedenen Breiten an.

die in eigenartiger Weise um ihn herum angeordnet sind. In Abb. 44 ist ein Meridiandurchschnitt der Erde gezeigt: In ihrem Mittelpunkt ist sinnbildlich ein magnetisierter Erdkern eingezeichnet, dessen Kraftlinien, aus seinen Polen herausquellend und sich zu geschlossenen Kurven vereinigend, uns die ungefähre Form des erdmagnetischen Feldes verdeutlichen. Die Abbildung läßt erkennen, daß am Äquator die frei nach allen Richtungen (also auch in vertikaler!) drehbar aufgehängte Kompaßnadel sich horizontal und nord-südlich einstellt, während sie in den Polargegenden, dort, wo die Ver-

längerung der magnetischen Achse die Erdoberfläche durchstößt, vertikal nach unten zeigt. An diesen Punkten, die als die *magnetischen Pole* der Erde bezeichnet werden, wird eine nur in horizontaler Richtung freibewegliche Magnetnadel, wie sie ein gewöhnlicher Kompaß enthält, keinerlei Richtung bevorzugen — an diesen Punkten ist demnach der Kompaß unbrauchbar.

Die Lage der magnetischen Achse fällt mit der Erdachse nicht zusammen, sie geht nicht einmal genau durch den Erdmittelpunkt, wie in der Abbildung schematisch angedeutet ist. Die magnetischen Pole liegen deshalb ziemlich weit von den Erdpolen entfernt, wenn auch noch im Bereich der arktischen Zonen. Der magnetische Nordpol liegt auf der Halbinsel Boothia Felix an der Eismeerküste Nordamerikas, der magnetische Südpol im Victoria-Land auf dem antarktischen Kontinent, beide unter $72-73^\circ$ Breite. Übrigens sind der Verlauf der magnetischen Kraftlinien, die magnetische Feldstärke und die Lage der magnetischen Pole keineswegs unveränderlich, sondern erheblichen Schwankungen unterworfen. Für die Orientierung nach dem Kompaß ist es besonders wichtig, die Veränderungen der magnetischen *Deklination* zu kennen, jenes Winkels, der in jedem Punkte der Erdoberfläche die Abweichung der Magnetnadelrichtung von der Nord-Süd-Linie anzeigt. Wie alle anderen Größen, durch die Richtung und Stärke der magnetischen Kraft bestimmt sind, zeigt auch die Deklination sowohl langsame fortschreitende Veränderungen (die sogenannte Säkularvariation) als auch kurzperiodische Schwankungen, unter denen besonders wichtig die tägliche und die jährliche Variation sind. Diese Schwankungen zeigen deutlich die Abhängigkeit des erdmagnetischen Feldes von der Achsendrehung der Erde und ihrem jährlichen Lauf um die Sonne. Sie werden der Hauptsache nach durch elektrische Ströme hervorgerufen, die in der Atmosphäre und wohl zum Teil auch außerhalb der Atmosphäre (als ein die Erde umkreisender Elektronenschwarm) und innerhalb des Erdkörpers fließen. Diese Ströme werden durch den tageszeitlichen und jahreszeitlichen Wechsel der Sonneneinstrahlung stark beeinflußt.

Überhaupt ist das gesamte magnetische Erdfeld gegen Ein-

flüsse jeder Art, die aus dem Weltenraum und besonders natürlich von der Sonne her zu uns dringen, sehr empfindlich. So spiegelt sich auch der 11jährige Zyklus der Sonnentätigkeit in den Variationen der erdmagnetischen Ele-

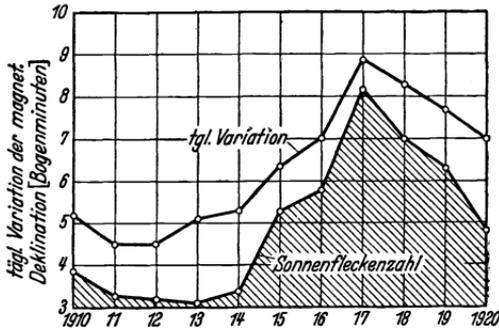


Abb. 45. Zusammenhang zwischen der Größe der täglichen Schwankung der Richtung der Magnetnadel (Mittelwerte von Potsdam) und der Anzahl der Sonnenflecken, nach den Beobachtungen von 1910—1920.

mente wider, und zwar mit einer Deutlichkeit, die nichts zu wünschen übrig läßt. Abb. 45 zeigt die zeitliche Veränderung des Betrages der täglichen Variation der magnetischen Deklination zu Potsdam und darunter den gleichzeitigen Gang der

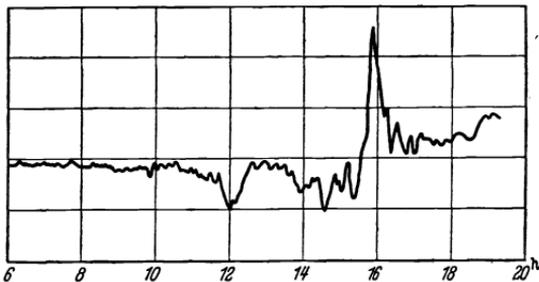


Abb. 46. Magnetischer Sturm vom 29. Oktober 1931. Registrierung der magnetischen Horizontalintensität (ost-westliche Komponente) in Seddin bei Potsdam.

Sonnenfleckenhäufigkeit — die Ähnlichkeit beider Kurven auch in kleinen Einzelheiten lassen den inneren Zusammenhang beider Erscheinungen unzweifelhaft hervortreten.

Das Magnetfeld der Erde ist somit ein äußerst sensibles Instrument, das jede Veränderung des uns von der Sonne

zugesandten Energiestroms gewissenhaft aufzeichnet. Nach den Untersuchungen der modernen Geophysiker, insbesondere des Norwegers Störmer, beruht diese Empfindlichkeit des Erdfeldes auf den von der Sonne zu uns gelangenden elektrischen Teilchen (Elektronen). Diese besonders aus den gewaltigen magnetischen Feldern der Sonnenflecke mit ungeheurer Geschwindigkeit ausgestoßenen Elektronenströme werden vom Magnetfeld der Erde gewissermaßen eingefangen und beeinflussen es in der gleichen Weise, wie wir es aus der Physikstunde von den Experimenten her kennen, durch die die Einwirkungen elektrischer Ströme auf eine Magnetnadel gezeigt werden.

Die Reaktion des erdmagnetischen Feldes auf diese von der Sonne ausgesandten Energieströme ist so fein, daß schon das Vorbeiziehen eines Sonnenflecks durch die Mitte der Sonnenscheibe von den erdmagnetischen Meßinstrumenten unserer Observatorien aufgezeichnet wird. Größere Sonnenfleckengruppen, wie sie hauptsächlich in der Zeit

des Maximums der Sonnentätigkeit häufig auftreten, vermögen geradezu „magnetische Stürme“ hervorzurufen. Abb. 46 zeigt eine in Seddin bei Potsdam erhaltene Registrierkurve, die die Wirkung eines solchen magnetischen Sturms deutlicher als alle Worte beschreibt.

So wie ein elektrischer Strom magnetische Wirkungen hervorbringt, werden auch die Bahnen der von der Sonne her einströmenden Elektronen durch das Magnetfeld der Erde beeinflusst. Störmer hat gezeigt, daß die Elektronen, sobald sie in den Bereich des weit in den Raum hinaus sich erstreckenden erdmagnetischen Feldes gelangen, um die „Kraftlinien“ dieses Feldes spiralförmig gewundene Bahnen beschreiben müssen. Gerade diejenigen Kraftlinien aber, die sich

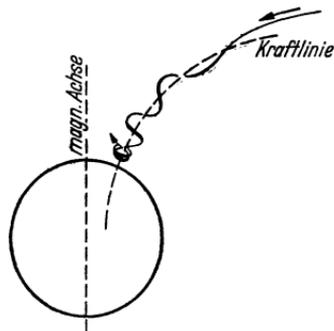


Abb. 47. Die von der Sonne ausgeschleuderten Elektronen beschreiben spiralförmige Bahnen um die Kraftlinien des erdmagnetischen Feldes und erzeugen durch ihre Schwingungen in den höheren Schichten der Atmosphäre die Polarlichter.

weit in den Weltenraum erstrecken, münden, wie aus Abb. 47 ersichtlich ist, in den Polargegenden der Erde in die Atmosphäre unseres Planeten ein. Dort werden also die vielfältigen Wirkungen dieser Korpuskelstrahlung am stärksten in Erscheinung treten — um sie zu erkennen, sind nicht immer Meßinstrumente nötig: Die reizvolle Lichterscheinung der *Polarlichter* (Nordlicht, Südlicht), die in großen Höhen, an der Grenze der Atmosphäre, aufleuchten, machen sie auch unmittelbar dem menschlichen Auge sichtbar. In unseren Breiten werden Nordlichter nur selten beobachtet — während des Sonnenfleckensmaximums 1938, das besonders in der ersten Hälfte dieses Jahres starke magnetische Stürme mit sich brachte, sind auch in Deutschland mehrfach Nordlichter gesehen worden. In den Polargebieten selbst gehören sie zu den alltäglichen Erscheinungen und erfüllen die lange Winternacht mit ihrem Zauber.

IX. Der Körperbau des Planeten Erde.

Die Alten dachten sich die Welt aus vier Elementen aufgebaut: die feste *Erde* als das Fundament des Weltgebäudes; das *Wasser* der Meere und Ströme; die leichte *Luft*, die Meer und Erde überflutet, und schließlich das geheimnisvolle *Feuer*, dessen Wohnsitz teils in überirdischen, teils in unterirdischen Regionen zu suchen war. Ein Überrest dieser Einteilung findet sich heute noch in der Unterscheidung der Hauptgebiete geophysikalischer Forschung: der Physik des festen Erdkörpers (der Lithosphäre), des Wassermantels der Erde (der Hydrosphäre) und der Lufthülle (der Atmosphäre). Nur das Feuer, das wir ja heute nicht mehr als einen „Stoff“ ansehen, scheidet in dieser Einteilung aus.

Der feste Erdkörper, von dessen Natur in diesem Kapitel die Rede sein soll, war, bis auf die allerobersten Schichten der Erdrinde, der menschlichen Forschung völlig unzugänglich, und so ist es zu verstehen, daß sich die Ansichten der Wissenschaft über das Erdinnere bis tief in die neueste Zeit hinein

auf Spekulationen stützten, deren Wert den der primitiven Anschauungen des Altertums kaum wesentlich überstieg. Übereinstimmend ist in allen Theorien, so verschiedenartig sie auch sonst waren, die Ansicht vertreten, daß das Innere der Erde heiß ist. Wir haben schon früher gesehen, daß die Zunahme der Temperatur mit der Tiefe, die wir beim Hinabsteigen in tiefe Schächte beobachten, zwangsläufig auf die Vorstellung von einem heißen Erdkern führen müssen, ebenso wie die Erscheinung der Vulkanausbrüche, durch die das glühend heiße Material aus den Tiefen der Erde ans Tageslicht gebracht wird. Hingegen gingen die Meinungen über den sonstigen Zustand des Erdinnern weit auseinander. Wir finden sowohl die Ansicht ausgesprochen, daß die Erde im Innern fest sei, als auch die, daß sie flüssig oder gasförmig gestaltet sei. Andere wieder behaupten, der Erdkörper sei zwar fest, aber von Hohlräumen durchzogen, in denen sich glühendflüssige Lavamassen ansammeln — dieselben Massen, die von Zeit zu Zeit durch die Krateröffnungen der Vulkane nach außen hin abfließen, wenn der Druck in der Tiefe zu stark geworden ist.

Auch über die stoffliche Beschaffenheit des Erdinnern hatte man keine Anhaltspunkte und konnte der Phantasie freien Spielraum gewähren. Erst, als es der physikalischen Forschung im Zusammenwirken mit der Astronomie gelang, den Erdball gleichsam auf die Waage zu legen und seine Masse zu berechnen, hatte man wenigstens die Möglichkeit, diesen Spielraum etwas einzuengen.

Die Bestimmung der Erdmasse wurde physikalisch überhaupt erst möglich durch die Entdeckung des Gravitationsgesetzes durch Newton. Nach ihm ist die *Beschleunigung*, die eine Masse irgendeinem anderen Körper erteilt, der Masse des anziehenden Körpers proportional und umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung beider Körper. Die Beschleunigung, die etwa die Erde als Ganzes dem Monde erteilt, läßt sich aus der Mondbewegung unmittelbar ableiten. Wir kennen also die Schwere Wirkung der Erdmasse auf andere Körper ganz genau — in dieser Wirkung aber, die sich zahlenmäßig ausdrücken läßt, steckt die Erdmasse selbst verborgen. Wir können sie bestimmen, wenn es uns gelingt, die anziehende

Wirkung eines Körpers von bekannter (in Kilogramm oder Tonnen auszudrückender) Masse zu messen und sie mit der anziehenden Wirkung des Erdkörpers zu vergleichen. In der sogenannten *Drehwaage* (Abb. 48) haben wir nun ein Instrument, das uns die Messung der sehr kleinen Anziehungskräfte gestattet, die zwischen Körpern von solchen Dimensionen

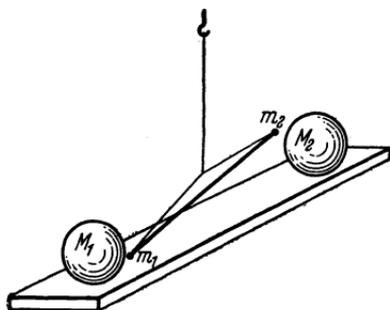


Abb. 48. Drehwaage (nach Cavendish) in schematischer Darstellung. Zwei große Massen M_1 und M_2 üben auf zwei kleine Probekörper m_1 und m_2 , die an einem Waagebalken horizontal drehbar aufgehängt sind, ein Drehmoment aus, dessen Größe durch die Torsion (Drehwiderstand) des Aufhängefadens gemessen werden kann. Auf diese Weise läßt sich die Anziehungskraft der Massen M_1 und M_2 bestimmen.

herrschen, wie wir sie bei Laboratoriumsversuchen benutzen können. Mit diesen Versuchen also hat man die Masse der Erde bestimmt — vergleicht man sie mit dem bekannten Rauminhalt des Erdkörpers, so erhält man damit das *spezifische Gewicht* (oder die Dichte) der Erde, das uns angibt, wieviel schwerer die Erde als eine Wasserkugel von gleicher Größe. Alle Messungen mit der Drehwaage und nach ähnlichen Verfahren haben ergeben, daß das spezifische Gewicht der Erde ungefähr 5,5 sein muß — ein Wert, dessen Höhe uns zunächst überraschen muß, wenn

wir bedenken, daß die Gesteine, aus denen sich die uns genauer bekannten oberen Schichten der Erdkrinde zusammensetzen, spezifische Gewichte zwischen 2,5 und 3,0 besitzen. Wenn also eine mittlere Dichte 5,5 herauskommen soll, muß zum Ausgleich gegen die spezifisch leichteren Oberflächenschichten der innere Teil des Erdkörpers bedeutend schwerer sein. So wurde schon bald nach Bekanntwerden der Zahl für die mittlere Erddichte die Vermutung ausgesprochen, daß der *Kern* der Erde aus Eisen (spezifisches Gewicht 7,8) und anderen Schwermetallen bestehe. Die magnetischen Eigenschaften der Erde lassen auch einen wenigstens zum Teil aus Eisen bestehenden Kern als sehr wahrscheinlich ansehen.

Genauere Auskunft über den Aufbau des Erdinnern hat aber erst die wissenschaftliche Erforschung der *Erdbeben* gebracht, jener oft verderbenbringenden Naturkatastrophen, die den anscheinend so festen Grund erschüttern, auf dem wir leben und unsere Häuser bauen. Da in einem anderen Bändchen dieser Sammlung¹ das Thema „Erdbeben“ erschöpfend behandelt ist, kann ich mich hier darauf beschränken, nur das zu sagen, was zur Wahrung des Zusammenhangs nötig ist. Wie kommt es, daß die Erdbeben uns Kunde von der Beschaffenheit des Innern der Erde geben? Die Beantwortung dieser Frage ist im Prinzip sehr einfach: Jedes Erdbeben bedeutet eine Erschütterung, die von einer bestimmten Stelle des Erdkörpers, dem *Erdbebenherd*, ausgeht und sich durch *elastische Wellen* über den ganzen Erdkörper ausbreitet. Diese Wellen entsprechen ganz den Schallwellen in der atmosphärischen Luft, die sich bei einer Erschütterung (z. B. dem Abfeuern eines Schusses oder dem Anschlagen einer Saite) mit einer bestimmten Geschwindigkeit nach allen Seiten fortpflanzen. Die Erdbebenwellen haben nur bedeutend größere Geschwindigkeiten als die Schallwellen und dementsprechend auch eine größere Reichweite. Feine Instrumente, die *Seismographen*, sind imstande, die geringen Bodenschwankungen aufzuzeichnen, die durch diese Wellen von einem viele Tausende von Kilometern entfernten Erdbebenherd herangebracht werden. Manche Wellen nehmen dabei ihren Weg durch das Erdinnere, andere wieder längs der Erdoberfläche. Trifft eine Tiefenwelle auf eine Schicht im Erdinnern, die dichteres und weniger dichtes Material voneinander trennt, so wird ein Teil der auftreffenden elastischen Strahlen von ihr zurückgeworfen und gelangt so mitunter auf anderen Wegen zur beobachtenden Station als der andere Teil, der durchgelassen wird. Läuft eine Welle längs einer Trennungsschicht zwischen verschieden dichten Teilen der Erde entlang, so wird sie gewöhnlich ausgelöscht. Alle diese Einzelheiten zeigen, daß die *Seismogramme* (so nennt man die Aufzeichnungen der Erdbebenschwingungen) einen einzigen Erdbebenstoß mehrfach aufzeichnen, besonders wenn der Herd weit entfernt

¹ Bd. 37: K. Jung, Kleine Erdbebenkunde.

liegt, weil der gleiche Vorgang von verschiedenen Wellen gemeldet wird, die verschiedene Wege zurückgelegt haben. Durch die gemeinsame Auswertung von Seismogrammen, die von einem und demselben Erdbeben in verschiedenen Teilen der Welt aufgenommen wurden, lassen sich auf diese Weise recht eingehende Schlüsse auf die Struktur der Erde ziehen. Eine Änderung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit mit der Tiefe kann dem Bearbeiter der Erdbebenaufzeichnungen nicht verborgen bleiben — sie läßt auf eine Zunahme der Dichte im Erdinnern schließen. Das Ausbleiben bestimmter Stoßeinsätze an Stationen, die vom Herdgebiet eine gewisse Entfernung haben, läßt darauf schließen, daß in der Tiefe, die diese Erdbebenwellen gerade erreichen müßten, eine Trennungsschicht vorhanden ist. Auf diese Weise ist mit sehr großer Sicherheit bekannt geworden, daß mindestens zwei solcher Trennungsschichten existieren, eine in 1200, eine in 2900 km Tiefe. Durch diese beiden Trennungsf lächen wird die Erde in drei konzentrisch zueinander angeordnete Teile zerlegt, den inneren *Erdkern*, eine *Zwischenschicht*

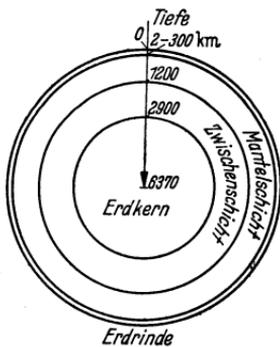


Abb. 49. Aufbau des Erdkörpers.

und eine Mantelschicht (Abb. 49). Als äußere Haut spannt sich über die Mantelschicht noch die Erdrinde, deren Dicke kaum mehr als 50 km betragen dürfte. Während die Dichte der Erdrinde, wie schon erwähnt, nicht ganz das 3fache der Wasserdichte erreicht, nimmt man für die Mantelschicht eine mittlere Dichte von 3,4 und für die Zwischenschicht eine solche von 6—7 an, während der Erdkern ein spezifisches Gewicht von 9—11 haben muß (das demnach beträchtlich über dem des Eisens liegt). Es ist daher wohl anzunehmen, daß auch andere Schwermetalle (Nickel, Kupfer, Blei, Gold, Platin) am Aufbau des Erdkerns beteiligt sind, doch können wir darüber nur Vermutungen anstellen. Wirklich bekannt ist uns nur der stoffliche Aufbau der *Erdrinde*, in die wir mit unseren Bergwerksschächten und Bohrlöchern (mit letzteren bis zu einer

Höchsttiefe von 3000 m) eingedrungen sind. Sie bestehen aus Gesteinen, die zum überwiegenden Teil aus Siliziumverbindungen der leichten Metalle (Aluminium, Magnesium, Kalzium, Kalium, Natrium) zusammengesetzt sind. Aus tieferen Erdschichten erhalten wir nur durch die Tätigkeit der *Vulkane* direkte Kunde. Die durch die Vulkane heraufbeförderten Lavamassen sind ebenfalls Silikate (Siliziumverbindungen) oder Oxyde (Sauerstoffverbindungen) der Leichtmetalle, sie dürften aus Tiefen zwischen 50 und 300 km stammen. Es könnte demnach sein, daß sie aus der Mantelschicht stammen, doch sind manche Forscher der Ansicht, daß die großen Kontinentalschollen, die einen wesentlichen Teil der Erdrinde ausmachen, stellenweise bis zu solchen Tiefen hinunterreichen und dort durch hohen Druck stark zusammengepreßt sind, und daß die Auswurfmassen der Vulkane aus den unteren Teilen dieser Schollen entstammen. Die Ansicht früherer Wissenschaftsepochen, daß das Erdinnere selbst flüssig sei, wird heute nicht mehr vertreten. Der hohe Druck, der die Massen in der Tiefe zusammenpreßt, dürfte trotz hoher Temperaturen einen Zustand, den wir als „flüssig“ bezeichnen könnten, nicht zulassen. Die Speisung der Vulkane dürfte also höchstens aus einzelnen Becken erfolgen, die in verhältnismäßig geringer Tiefe lokale Ansammlungen flüssiger Gesteinsmassen enthalten. Daß in größeren Tiefen, selbst im Erdkern, trotz der dort zweifellos sehr hohen Temperatur (nach Schätzungen 10 000—20 000° C), ein flüssiger Zustand der Materie nicht angenommen werden darf, wird durch die Tatsache belegt, daß die Erdbebenwellen, die den Erdkern durchdringen, *transversale* Schwingungen sind, während in Flüssigkeiten und Gasen nur *Longitudinalwellen* (in Art der Schallwellen) vorkommen können.

Die Erdbebenwissenschaft ist noch sehr jung — erst seit etwa 40 Jahren baut man Seismographen, die so empfindlich sind, daß aus ihren Aufzeichnungen alle diese Nachrichten aus dem Erdinnern mit Erfolg abgelesen werden konnten. Es ist zu erwarten, daß die Erfahrungen der Wissenschaft auf diesem interessanten Gebiete sich weiterhin vermehren werden. Die Erdbebenwellen stellen gewissermaßen die Rönt-

genstrahlen dar, mit denen wir lernten, den Leib der Erde zu durchleuchten. Aber die Entzifferung der Schrift, in der uns die Ergebnisse dieser Durchleuchtung übermittelt werden, ist schwierig und mühsam — wir lernen erst allmählich, sie zu lesen und ihr alle ihre Geheimnisse zu entlocken.

So müssen wir zufrieden sein, von den Verhältnissen in großen Tiefen der Erde uns wenigstens in ganz großen Zügen ein Bild machen zu können. Um so vielgestaltiger ist das Bild, das uns die *Erdrinde* bietet, die Haut der Erde, in der wir nach Herzenslust herumbohren können. Die Wissenschaft, die sich mit dem Aufbau der Erdrinde und der Entstehung ihrer Formen befaßt, ist die *Geologie*. Sie zeigt uns, daß die Haut unserer Erde aus zahlreichen Schichten besteht, die sich gegenseitig einhüllen, wie die Schalen einer Zwiebel, und deren Entstehung in verschiedenen Zeitaltern der Erdgeschichte erfolgt ist. Die geologischen Schichten sind demnach den Jahresringen der Bäume zu vergleichen, aus denen man ihr Alter bestimmt: Auch das Alter der Erde läßt sich mit Hilfe der Schichtung der Erdrinde zumindest roh abschätzen. Nur an wenigen Stellen verlaufen diese Schichten glatt und eben — meist sind sie wild ineinandergeschoben und übereinandergefaltet und geben uns so Kunde von der Entstehung der Gebirge und von gewaltigen Naturereignissen, wie sie unser Planet seit vielen Hunderttausenden von Jahren nicht mehr erlebt hat. An anderen Stellen ist die Haut der Erde gerissen — es haben sich „Verwerfungen“ gebildet, längs denen ganze Schollen abgesunken sind oder sich unter dem Druck gewaltiger von innen her wirkender Kräfte gehoben haben.

An der genauen Kenntnis der Zusammensetzung und Gestaltung der Erdrinde hat der Mensch nicht nur ein wissenschaftliches, sondern auch ein außerordentlich praktisches Interesse: Die Erdrinde umschließt in ihren Gesteinen viele Schätze, an deren Besitz dem Menschen gelegen ist, sie enthält eine Fülle von *Rohstoffen*, derer er zu seinem Leben und Schaffen bedarf. Sie birgt mächtige *Kohlenlager*, Überreste der vermoderten Vegetation vorweltlicher Urwälder, ferner *Erze*, aus denen Metalle aller Art gewonnen werden. An

anderen Stellen ragen gewaltige *Salzlagerstätten*, domartig emporgewölbt, aus der Tiefe bis dicht unter die Erdoberfläche empor — an den Hängen dieser Salzdome sammelt sich häufig das *Erdöl*, für das der Mensch ungeheure Verwendungsmöglichkeiten hat.

Zur Auffindung solcher und anderer Bodenschätze reichen oft die Mittel des Geologen nicht aus, der den Verlauf der Erdschichten aus den Aufschlüssen bestimmt, die ihm durch jene Stellen der Erdoberfläche gegeben sind, an denen das nackte Gestein zutage tritt. Andere Hinweise sind nur durch Bohrungen unmittelbar zu erhalten, die in solchen Gegenden, in denen Bodenschätze vermutet werden, oft in großer Zahl und bis zu großen Tiefen niedergebracht werden. Allein solche Bohrungen sind langwierig und kostspielig. Daher ist man bald nach den Erfolgen der Erdbebenforschung in bezug auf die Erkenntnis des Erdinnern darauf gekommen, zur Erforschung der Oberflächenstruktur der Erde ebenfalls dies Hilfsmittel zu benutzen. Da man dabei allerdings keine großen Tiefenwirkungen und auch keine Wirkungen auf weite Entfernungen brauchte, andererseits auch nicht immer warten konnte, bis einmal ein geeignetes Erdbeben kam, stellte man Beben kleinsten Ausmaßes künstlich her, indem man Sprengladungen in geringer Bodentiefe zur Explosion brachte. Durch die Beobachtung der durch solche Explosionen hervorgerufenen elastischen Wellen mit Hilfe geeigneter Apparate, die in weiterem Umkreise um die Sprengstelle herum aufgestellt werden, gelingt es, eine Reihe von Struktureigenschaften des untersuchten Geländes, z. B. den Verlauf von Verwerfungen, genau zu bestimmen, was im Zusammenhang mit dem geologischen Befund oft schon ein klares Bild von der Untergrundbeschaffenheit bietet.

Neben dieser besonders von L. Mintrop ausgebildeten Methode der künstlichen Beben verwendet man auch andere Verfahren des geophysikalischen Geländeaufschlusses. So hat man mit einigem Erfolg versucht, die Lage von Salzaufwölbungen dadurch zu bestimmen, daß man in dem betreffenden Gebiet die magnetische Vertikalintensität an einer Reihe von netzartig verteilten Punkten mißt. (Die Vertikalintensität ist

die senkrecht nach unten gerichtete Komponente der erdmagnetischen Anziehung.) Da das Salz (gewöhnlich Kalium- und Natriumsalze) magnetisch fast gänzlich neutral ist, während die gewöhnlichen Gesteine (auch wenn sie kein Eisen enthalten) schwach magnetisierbar sind, bildet sich über einem Salzstock ein Gebiet geringerer magnetischer Kraftwirkung aus. Man wird demnach die Kuppe der Salzaufwölbung dort zu suchen haben, wo das Meßinstrument die geringste magnetische Intensität zeigt.

Ein anderes Verfahren, das besonders in jüngster Zeit zur Anwendung gebracht wird, ist das *thermische*. Als Unterscheidungsmittel der Gesteine verschiedener Art wird hier die *Wärmeleitfähigkeit* benutzt, die z. B. für Metalle sehr groß, für andere Stoffe wieder klein ist. Wo sich also z. B. Metalle in nicht zu großer Tiefe befinden, wird der aus dem Erdinnern dringende Wärmestrom rascher zur Oberfläche fließen und daher bewirken, daß schon in geringer Tiefe eine stärkere Erwärmung des Bodens gegenüber den angrenzenden Gebieten feststellbar ist. Wieder andere Methoden arbeiten mit elektrischen Strömen, die zwischen zwei in den Erdboden gesenkten Elektroden fließen — aus dem Verlauf der *Stromlinien*, der mit Hilfe empfindlicher Meßgeräte festgestellt wird, lassen sich wertvolle Schlüsse auf die Bodengestaltung ziehen — so auf den Verlauf von unterirdischen Wasseradern oder Erzgängen, die von der fließenden Elektrizität wegen ihres hohen Leitvermögens bevorzugt werden. Einlagerungen schweren Gesteins in spezifisch leichten Schichten können auch durch *Schweremessungen* mit Hilfe von Pendeln aufgefunden werden, da die Massenanziehung, die von solchen Einlagerungen ausgeht, die Schwingungsdauer der Pendel verkürzt. Senkrecht in die Erde führende Spalten (Verwerfungen) verraten sich häufig durch *radioaktive Ausstrahlungen*, die durch solche Spalten aus dem Erdinnern heraus ihren Weg ins Freie suchen.

Die Ausbildung aller dieser Hilfsmethoden des praktischen Geologen ist erst im Werden begriffen und hat einen ganz neuen Zweig der Wissenschaft ins Leben gerufen: die *angewandte Geophysik*. Sie ist noch sehr ausbaufähig und dazu

berufen, dem Menschen ein weiteres Mittel zur Erkenntnis der Erde und zur Beherrschung ihrer Kräfte und Reichtümer zu sein.

X. Erde, Weltall und Leben.

Wenn wir den Inhalt der bisherigen Kapitel dieses Buches durchblättern, so erkennen wir, wie mannigfaltig unsere Erde mit dem Geschehen des Weltalls verbunden ist, wie sie und damit auch alles Leben, das sich auf ihrer Oberfläche abspielt, eingebettet ist in eine Wirklichkeit von unübersehbaren räumlichen und zeitlichen Abmessungen. Auch das Menschenleben steht unter dem Gesetz der Gestirne und ist — bis in die kleinsten Gewohnheiten des Alltags hinein — mit ihm an den Ablauf kosmischer Dinge gebunden. Der Mensch wurde der Herr der Erde nicht so sehr durch die Erfindung von Waffe und Werkzeug, als dadurch, daß er seinen Blick zu den Gestirnen des Himmels erhob und sich irgendwie einordnete in die Gesetzmäßigkeit einer höheren Welt, die — seinem Arm und seinem Fuß unerreichbar — doch mit tausendfältiger und mitunter unheimlicher Gewalt in sein Dasein einzugreifen schien.

Die menschliche Kultur der Gegenwart unterscheidet sich von der antiken nur dem oberflächlichen Betrachter in erster Linie durch den technischen Fortschritt. Wir begreifen, daß dieser in die Augen fallende Unterschied nur die notwendige Folge eines anderen, größeren und tieferen ist: Unser Welt-horizont hat sich geweitet, wir sehen die irdischen Dinge und unseren eigenen bescheidenen Wirkungskreis von einem höheren Standpunkt aus unter der Perspektive einer Ordnung, deren Sinn wir in wesentlichen Grundzügen begriffen und dem mystischen Dunkel kindlicher Spekulationen entrissen haben. Was ist dagegen der technische Fortschritt? Ohne Kopernikus, Kepler, Galilei wäre kein Newton entstanden, ohne Newtons Gravitationsgesetz gäbe es keine Mechanik, ohne Mechanik keine Elektrotechnik — alle diese Dinge hängen so eng miteinander zusammen, daß sie un-

trennbar sind, auch wenn es uns heute nicht mehr so vor-
kommt.

In keiner Hinsicht wird uns der grundsätzliche Unterschied zwischen alter und moderner Weltauffassung klarer, als wenn wir die Ansichten über die Art der Abhängigkeiten zwischen Erde und Weltall miteinander vergleichen. Für die Alten waren die Gestirne des Himmels Symbole der göttlichen Gewalten selbst — sie trugen nicht nur die Namen der Götter, sondern verdolmetschten den Menschen durch ihre geheimnisvollen Bewegungen und Konstellationen Götterwillen und Menschenschicksal. Ungeachtet der ehrlichen Bemühungen großer Astronomen um eine Erkenntnis mechanischer Weltzusammenhänge beherrschte die *Astrologie*, die Kunst der *Sterndeutung*, das Feld der Wissenschaft. Solange die Erde als der Mittelpunkt der Welt galt und somit der *Mensch* als das wichtigste aller Geschöpfe angesehen werden durfte, war die Ansicht verständlich, daß ein ganzer himmlischer Apparat in Bewegung gesetzt wurde, nur um dem Menschen als Richtschnur seines Handelns oder als sichtbares Zeichen göttlicher Entscheidungen über ihn zu dienen.

So unbescheiden sind wir heute nicht mehr. Die Erde steht nicht mehr im Mittelpunkt der Welt — ihre Stellung innerhalb der Weltmaschinerie ist durchaus untergeordnet und belanglos. Die Sterne sind ferne Welten mit eigenem Leben und eigenen Schicksalen, die wir nicht kennen und niemals kennenlernen werden. Selbst innerhalb des Sonnensystems, der engeren Familie von Himmelskörpern, der unser Planet angehört, spielt die Erde rein größtmäßig keine besonders hervorstechende Rolle, obwohl sie — wenigstens in ihrem jetzigen Entwicklungszustand — gegenüber ihren Geschwistern, den anderen Planeten, in mehr als einer Hinsicht besondere Vorteile genießt. Wir werden darauf noch zu sprechen kommen.

Die Bedeutung der Himmelskörper für das irdische Leben im allgemeinen und das menschliche im besonderen liegt für unsere heutige Weltauffassung auf einer ganz anderen Linie als zur Zeit der Blüte der Astrologie, die seit einigen Jahrhunderten unwiderrufflich vorbei ist. Wenn heute noch hier

und da für die Entzifferung menschlicher Schicksale aus der Stellung der Planeten eine eifrige Propaganda entfaltet wird, so handelt es sich nicht mehr, wie einst, um die ernsthafte Meinung denkender Menschen, die von ihrem Standpunkt aus forschend die noch verschleierte Zusammenhänge zwischen Himmel und Erde zu ergründen suchten, sondern lediglich um die Spekulation gewissenloser Geschäftemacher auf den Sensationshunger einer urteilsunfähigen Menge. *Auch wir Menschen des zwanzigsten Jahrhunderts glauben, daß Weltall und Mensch miteinander verbunden sind* — nur sehen wir diese Verbindung nicht mehr durch die willkürliche Symbolik geheimnisvoller Spielregeln hergestellt, sondern durch den wahrhaft großen und kühnen Gedanken, daß eine und dieselbe Naturgesetzlichkeit Himmel und Erde beherrscht. Ich glaube, daß dieser unbeweisbare, aber schöpferische Gedanke es ist, der die Überwindung des alten durch ein neues Denken am besten kennzeichnet.

Zwei Mittel sind es hauptsächlich, durch die der Kontakt zwischen der Erde und den Gestirnen des Himmels geschlossen wird: die *Strahlung*, die als Licht- oder Wärmestrahlung den Energieaustausch von Stern zu Stern besorgt, und die *Gravitation*, jene geheimnisvollste aller Fernwirkungen, durch die Masse an Masse gebunden, die Zusammenballung der Weltkörper ermöglicht und ihre gegenseitige Bewegungsform geregelt wird. Wir haben uns in den einzelnen Kapiteln dieses Buches hauptsächlich mit den Wirkungen dieser Art beschäftigt, die von *Sonne* und *Mond* ausgingen, dem *größten* und dem *nächsten* aller Himmelskörper unserer Nachbarschaft, den einzigen, die ihre kugelförmige Weltkörpergestalt dem Auge unmittelbar verraten, während alle andern Gestirne für das unbewaffnete Auge punktförmig aussehen. Wie sieht es nun mit den Wirkungen der übrigen Planeten des Sonnensystems und mit den Wirkungen der Fixsterne aus?

Die *Planeten* (Abb. 50), insbesondere die beiden nächsten (Venus und Mars) und die beiden größten (Jupiter und Saturn), machen sich durch ihre Massenanziehung bemerkbar; durch sie wird die Erdbahn gestört — namentlich jene in langen Zeiträumen vor sich gehenden Bahnänderungen,

die an den großen klimatischen Änderungen im Laufe der Erdgeschichte zum Teil schuld sind, werden durch die winzigen, aber unablässig in gleichem Sinne wirkenden Kräfte hervorgerufen, die aus der Massenanziehung der Planeten stammen. Auch die Präzession der Tagundnachtgleichen, jene hauptsächlich durch Mond und Sonne hervorgerufene Änderung der Erdachsenrichtung im Raume, wird zu einem kleinen Teil durch die Planetenanziehung mitbestimmt. Wesentliche Beiträge zu den *Gezeiten* des Meeres, der Lufthülle und des Erdkörpers selbst liefert die Schwerewirkung der Planeten

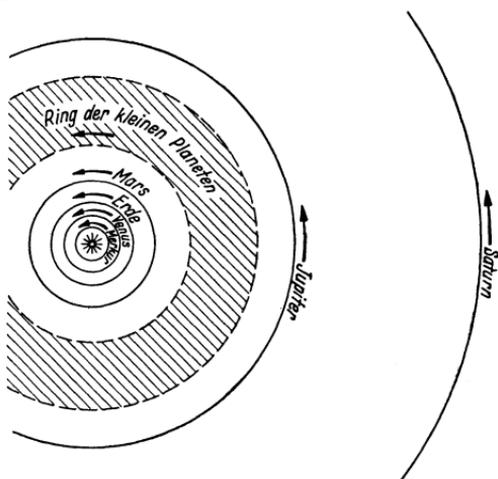


Abb. 50. Aufbau des Sonnensystems (maßstäblich). Die Bahnen des Uranus und des Neptun sind nicht mit eingezeichnet; ihr Halbmesser beträgt das 19- bzw. 30fache des Erdbahnhalmessers. (Halbmesser der Saturnsbahn das $9\frac{1}{2}$ fache.)

schon nicht mehr, da sie viel zu gering dazu ist. Auch die Licht- und Wärmestrahlung der Planeten ist von einer Größenordnung, die im Licht- und Wärmehaushalt der Erde gar keine Rolle spielt. Die Planeten sind dunkle Körper, wie Erde und Mond — ihr Licht ist reflektiertes Sonnenlicht, wie z. B. das Mondlicht auch. Der Mond erhellt mit seinem Schein immerhin unsere Nächte und trägt daher ganz wesentlich zur Beleuchtung der Erde bei — aber die *Wärmestrahlung* des Mondes ist schon so gering, daß sie nur mit sehr empfindlichen physikalischen Meßgeräten überhaupt festgestellt wer-

den kann. Fühlbar für menschliche Wärmeempfindung ist sie nicht, und das gleiche gilt darum auch in verstärktem Maße für die Planeten.

Die unmittelbaren Wirkungen der Planeten auf irdisches Leben sind also außerordentlich geringfügig und summieren sich nur (wenn wir die säkularen Störungen der Erdbahn durch die Planeten betrachten) in Hunderttausenden von Jahren so sehr, daß sie Änderungen klimatischer Natur auf der Erde hervorzubringen vermögen. In den Zeiträumen, mit denen in der Menschheits- und Völkergeschichte oder gar im Leben des einzelnen Menschen gerechnet wird, machen sich diese Einflüsse nicht bemerkbar, wenn sie auch der peinlich genauen Beobachtungskunst der modernen Astronomie keineswegs entgehen. Darüber hinaus haben die Planeten, die Brüder unserer Erde, für uns nicht mehr als *Schicksalsverkünder*, sondern als *Schicksalsgenossen* des von uns bewohnten Weltkörpers ein Interesse, das allerdings als allgemein und tiefgreifend bezeichnet werden darf.

Die Erkenntnis, daß die Planeten andere Erden sind, die gleich der unsrigen um die Licht- und Lebensspenderin Sonne kreisen, erweckte frühzeitig den Gedanken, sie als Träger des *Lebens* anzusehen. Wenn wir an dieser Stelle auf die Ergebnisse der zahlreichen Überlegungen, die über diese Frage angestellt worden sind, kurz eingehen, so geschieht dies — im Zusammenhang mit dem Thema dieses Buches — hauptsächlich aus dem Grunde, weil durch diese Versuche ganz außerordentlich viel zur Klärung der *kosmischen Bedingtheit* des irdischen Lebenszustandes beigetragen worden ist. Die Planeten geben uns durch ihre körperliche Existenz einen lebendigen Anschauungsunterricht über einen Fragenbereich, der auch rein theoretisch aufgeworfen werden könnte, dessen Beantwortung aber nun nicht mehr auf rein spekulative Überlegungen beschränkt ist, sondern im Rahmen der Möglichkeiten durch Beobachtung unterstützt werden kann: Wie ändern sich die Bedingungen für die Entfaltung und Erhaltung des Lebens auf der Oberfläche eines Planeten, wenn man an die Stelle der kosmischen Verhältnisse, die wir bei unserer Erde vorfinden, andere setzt?

In der Tat kann man theoretisch die kosmischen Voraussetzungen für das Leben in sehr mannigfacher Weise abwandeln. Wir können uns vorstellen, daß der zu betrachtende Planet kleiner oder größer sei als die Erde, daß seine Achsendrehung langsamer oder schneller erfolge, daß die Neigung der Umdrehungsachse gegen die Ebene seiner Bahnbewegung eine andere sei als die, die wir von der Erde her kennen, daß ferner die Bahnbewegung um die Sonne eine andere Form und Größe habe (daß der Sonnenabstand größer oder kleiner sei als der unserer Erde, daß die Bahnform eine Ellipse von größerer Exzentrizität, d. h. langgestreckter als die nahezu kreisförmige Erdbahn sei), schließlich, daß die Atmosphäre des Planeten dünner oder dichter sei als die irdische, daß sie aus anderen Stoffen oder wenigstens aus Luft von anderer Zusammensetzung bestehe, und so weiter.

Wir sehen also, daß die besondere Stellung, die unsere Erde im Weltall einnimmt, nur *eine* Möglichkeit unter einer unübersehbaren Fülle verschiedener darstellt. Wenn wir die übrigen Mitglieder des Sonnensystems betrachten, so finden wir nur eine ganz geringe Auswahl aus dieser Menge denkbarer Lebensbedingungen verwirklicht. Immerhin genügt diese Auswahl, um uns eindringlich vor Augen zu führen, unter wie ungewöhnlich günstigen Umständen das Leben auf der Erde sich entfalten kann.

Über einen der oben aufgezählten Punkte haben wir bereits früher etwas aussagen können: Am Beginn des siebenten Kapitels fanden wir, daß die Größe und Dichte des Erdkörpers und damit die auf der Erdoberfläche herrschende *Schwerkraft* von einer Stärke ist, die ausreicht, um den Bestand der *Atmosphäre* zu sichern, während der *Mond*, auf dem die Schwerkraft sechsmal so gering ist, ohne Lufthülle und damit ein toter Körper ist. Wir haben daraus gelernt, daß der Bestand des Lebens auf der Oberfläche eines Planeten sehr wesentlich an die Bedingung geknüpft ist, daß der Planet eine gewisse Mindestgröße haben muß, denn ohne Atmosphäre können wir uns ein organisches Leben nicht vorstellen — auch das Wasser, jenes zweite unentbehrliche Lebenselement, würde auf einem atmosphärelosen Planeten keinen Bestand haben, wie

das Beispiel des Mondes uns vor Augen führt. Von den Weltkörpern des Sonnensystems scheiden demnach als Träger des Lebens alle diejenigen aus, die wesentlich kleiner sind als die Erde, das sind: die kleinen Planeten, die der Hauptsache nach zwischen Mars und Jupiter um die Sonne kreisen (die größten unter ihnen haben Durchmesser von wenigen hundert Kilometern), die Monde der Planeten (von denen der Erdmond einer der größten ist und nur von einigen Jupitermonden an Größe um ein geringes übertroffen wird), ferner der sonnen nächste Planet *Merkur*, der nur wenig größer ist als der Erdmond. Kleiner als die Erde ist auch der Planet *Mars* — die Schwerkraft auf seiner Oberfläche beträgt etwa ein Drittel der Erdschwere. Das reicht offenbar noch gerade aus, um den Bestand einer, wenn auch nur sehr dünnen, Atmosphäre zu sichern. *Venus*, neben Mars unser nächster Nachbar im Sonnensystem, hat nahezu Erdgröße und ist daher auch im Besitz einer dichten Atmosphäre — wie diese zusammengesetzt ist, wissen wir aber nicht genau; nach den neuesten Forschungsergebnissen ist es wahrscheinlich, daß sie sehr reich an Kohlensäure ist. Die übrigen Planeten, Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun, sind sehr große Körper — ihre Atmosphären sind außerordentlich dicht und hoch. Über die Bestandteile, aus denen sich die Gashüllen dieser Riesenplaneten zusammensetzen, wissen wir nichts, es ist aber wohl anzunehmen, daß die leichten Gase (Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff usw.) nur in den höchsten Schichten vorkommen, während in größerer Tiefe schwerere Stoffe vorherrschen, wahrscheinlich bei sehr hohen Temperaturen auch Metaldämpfe. Es entzieht sich auch unserer Kenntnis, ob diese Planeten überhaupt eine feste Oberfläche haben. Von dem äußersten Planeten des Sonnensystems, dem kürzlich (1930) entdeckten *Pluto*, der sich noch jenseits der Neptunsbahn um die Sonne bewegt, wollen wir im Rahmen dieser Betrachtungen ganz absehen — er dürfte höchstens Erdgröße haben, ist aber so weit von der Sonne entfernt, daß die Erwärmung seiner Oberfläche durch die Sonnenstrahlung verschwindend gering ist und zur Erhaltung auch des bescheidensten Lebens nicht ausreichen würde.

Neben unserer Erde besitzt also nur noch die Venus und

höchstens noch der Mars eine Größe, die sie in Art der Erde zum Wohnsitz organischen Lebens geeignet macht — was die großen Planeten mit ihren dichten Atmosphären anbelangt, könnten wir uns allenfalls noch vorstellen, daß in den oberen Schichten ihrer Gashüllen organische Lebewesen schwebend oder schwimmend als eine Art von „Luftplankton“ noch Existenzmöglichkeiten finden, sofern sie in diesen Schichten nicht nur atembare Gase, sondern auch günstige *Temperaturverhältnisse* vorfinden. Diese dürften allerdings erst in einer gewissen Tiefe anzutreffen sein, in der der Wärmestrom aus dem sicherlich noch sehr heißen Inneren dieser großen Weltkörper wirksam genug ist. Die *Sonnenstrahlung* hingegen, die unsere irdische Atmosphäre hinreichend erwärmt, kommt als Lieferant von Wärmeenergie schon für den sonnennächsten der vier Riesenplaneten, *Jupiter*, kaum noch in Betracht. Die mittlere Entfernung des Jupiter von der Sonne ist etwa fünfmal größer als die der Erde; von derjenigen Wärmemenge, die die Erdoberfläche pro Flächeneinheit zugestrahlt erhält, gelangt daher auf die Oberfläche des Jupiter nur der 25. Teil. Demnach ist die Temperatur in den höchsten Schichten der Jupiteratmosphäre sehr niedrig — sehr sorgfältige Strahlungsmessungen, die in letzter Zeit angestellt worden sind, haben für die mittlere Temperatur Werte von über 100° unter dem Gefrierpunkt ergeben.

Im Gegensatz zu diesen großen, sonnenfernen Planeten ist unsere Erde in der glücklichen Lage, gerade den Abstand von der Sonne erhalten zu haben, der in bezug auf die Erwärmung von Oberfläche, Luft- und Wasserhülle am günstigsten ist. Wir bemerken, daß nicht alle Zonen der Erde in dieser Hinsicht gleich gut versorgt sind. An den Polen reicht die Strahlungsmenge nicht aus, um die Wärmeversorgung sicherzustellen, in den Tropen ist das Maß des Zuträglichen leicht überschritten, wenigstens wenn wir menschliche Maßstäbe anlegen. Die mittlere Temperatur der Erde (gemeint ist hiermit die Temperatur der untersten Luftschichten, in denen sich ja der weitaus größte Teil alles Erdenlebens abspielt) beträgt 8–9° C über dem Gefrierpunkt des Wassers — dieser Wert stimmt auch mit dem Jahresmittel der Temperatur in

den gemäßigten Breiten überein, in denen das Leben, wenn auch nicht seine üppigste, so doch — in der menschlichen Kultur — seine höchste Entfaltung gefunden hat.

Ein wie glücklicher Umstand für das Leben der Erde gerade diese Abmessung der ihr zuteil werdenden Sonnenenergie ist, lernen wir am besten einsehen, wenn wir unsere beiden Nachbarn im Sonnensystem etwas näher betrachten: Venus, deren Sonnenentfernung um gut ein Viertel geringer ist als die der Erde, und die daher mehr als das Doppelte an Sonnenwärme einnimmt — und Mars, der in etwa anderthalbfacher Erdentfernung um die Sonne kreist und dessen Strahlungsbilanz über doppelt so ungünstig abschließt. Bei Mars kommt als ungünstiges Moment noch die geringe Dichte der Atmosphäre hinzu, die einen wirksamen Schutz gegen die nächtliche Ausstrahlung nicht bietet. Die Oberflächentemperatur ist daher (Mars dreht sich in fast genau der gleichen Zeit um seine Achse wie die Erde) starken täglichen Temperaturschwankungen unterworfen. In seinen Äquatorgebieten steigt die Bodentemperatur wahrscheinlich am Tage bis über den Gefrierpunkt an, sinkt jedoch nachts stark ab — bis 40 oder 50° darunter. An den Polen finden wir sogar *mittlere* Temperaturen von 50° unter null. Ganz anders liegen die Verhältnisse bei *Venus*. Wir können zwar durch ihre Atmosphäre nicht hindurch auf die Planetenoberfläche sehen, da eine dichte Wolkenhülle (die aber wahrscheinlich nicht aus Wasserdampf besteht, sondern staubartigen Charakter hat) diesen Himmelskörper umgibt. Nach sorgfältigen Berechnungen und Messungen dürfte die mittlere Venustemperatur ungefähr bei 25—30° Wärme liegen. Noch heißer muß es auf *Merkur*, dem sonnennächsten Planeten sein, der fast siebenmal so viel Sonnenwärme zugestrahlt erhält wie die Erde. Merkur würde wahrscheinlich schon aus diesem Grunde als Lebensträger ungeeignet sein, wenn er nicht überdies zu klein wäre, um eine Atmosphäre halten zu können.

Vorausgesetzt, daß alle übrigen kosmischen Lebensbedingungen mit denen der Erde übereinstimmen würden, dürften Mars und Venus die beiden einzigen Körper des Sonnensystems sein, deren „Klima“ mit dem irdischen wenigstens

entfernt verglichen werden könnte. Wir dürften dann annehmen, daß Mars ein ausgesprochen arktisches Klima besitzt, bei sehr dünner Luft, während auf Venus ein tropisches Treibhausklima herrscht, etwa in der Art, wie unsere Erde es zur Zeit der Steinkohlenwälder erlebt haben mag.

Ob aber dieser Vergleich tatsächlich zutreffend ist, hängt noch von anderen Umständen ab. Am wichtigsten ist in dieser Beziehung die Umdrehungszeit der Planeten um ihre Achse. Die Erde mit ihrer kurzen Rotationsdauer von 24 Stunden ist in dieser Hinsicht wiederum sehr bevorzugt — die Dauer des Erdentages ist kurz genug, um eine gleichmäßige Erwärmung der gesamten Oberfläche zu sichern, mit Ausnahme der Polargebiete. Auch der Planet *Mars* hat eine Rotationsdauer, die von der irdischen nur wenig verschieden ist — der Marstag ist nur 37 Min. 23 Sek. länger als der Erdtag. Ferner hat die Neigung des Marsäquators gegen die Marsbahnebene fast genau denselben Betrag wie die irdische „Schiefe der Ekliptik“, nämlich ungefähr 25° . Somit sind auch die Zoneneinteilung der Marsoberfläche und der Jahreszeitenverlauf ganz ähnlich wie bei der Erde. Aber diese günstigen Verhältnisse vermögen die klimatischen Nachteile nicht aufzuheben, die unserm Nachbarplaneten infolge der geringeren Einstrahlung und insbesondere der sehr dünnen Atmosphäre erstehen. Während die dichte Erdatmosphäre bewirkt, daß die am Tage eingestrahelte Wärme zum größten Teile während der Nacht festgehalten wird, gibt die Marsoberfläche die an sich schon bedeutend geringere Sonnenwärme, die sie am Tage aufspeichert, während der Nacht durch Ausstrahlung schnell wieder ab — die Temperaturgegensätze zwischen Tag und Nacht sind daher auf dem Mars außerordentlich hoch. Wir müssen es demnach als sehr zweifelhaft ansehen, daß dieser Planet organismischem Leben eine wohnliche Stätte bieten kann.

Wie steht es nun in dieser Hinsicht mit *Venus*? Mit Sonnenwärme ist dieser Himmelskörper reichlich, ja überreichlich, versorgt — seine dichte Atmosphäre schützt ihn aber gegen allzu intensive Strahlung, sein Himmel ist undurchsichtig trübe, ein sehr hoher Prozentsatz des auffallenden Lichtes wird von den oberen Schichten der Gashülle wieder in den Raum

zurückgeworfen. Leider erscheint dem irdischen Beobachter infolge dieses Umstandes die Venusoberfläche so bar aller Einzelheiten, daß es bisher nicht gelungen ist, die Achsendrehung des Planeten einwandfrei zu messen. Der als ausgezeichnete Beobachter bekannte italienische Astronom Schiaparelli hat gegen Ende des vorigen Jahrhunderts die Ansicht vertreten, daß Venus — ähnlich wie der Mond der Erde gegenüber — auf ihrem Wege um die Sonne dieser stets die gleiche Seite zukehrt, d. h. also, daß der Venustag gleich einem Venusjahr, nämlich 225 Tage lang ist. Andere Beobachter kamen dagegen zu der Überzeugung, daß die Rotationszeit der Venus, ebenso wie die des Mars, ungefähr gleich einem Erdentag sei. Heute nimmt man an, daß die Umdrehungszeit zwischen diesen extremen Werten liegt und etwa 15—20 Tage beträgt. Genaueres läßt sich über diesen Punkt zur Zeit nicht aussagen. Für die Frage nach der Möglichkeit organischen Lebens auf der Venus wäre aber die Kenntnis der Umlaufzeit sehr wichtig. Eine sehr lange Rotationszeit könnte in der Tat das Leben auf diesem Planeten unmöglich machen. Wenn Venus der Sonne stets die gleiche Seite zuwenden würde, so würde das bedeuten, daß auf der einen Hälfte des Planeten die nahe Sonne mit ewiger und alles Lebendige vernichtender Glut herniederbrennen müßte, während die von der Sonne abgewandte Seite in eisiger Kälte erstarret. Einen gewissen Ausgleich würde nur der durch gewaltige Temperaturunterschiede hervorgerufene Luftmassenaustausch zwischen beiden Planetenhälften bewirken — eine schmale Zone an der Grenze zwischen ewigem Tag und ewiger Nacht, ein von ungeheuren Stürmen durchbrauster Dämmerungsgürtel, könnte vielleicht bewohnbar sein, wenn überhaupt die Zusammensetzung der Atmosphäre Leben in irgendeiner Form ermöglicht. Eine Umdrehungszeit von mittlerer Dauer, etwa von 15 Tagen, könnte dagegen bei der großen Dichte der Venusatmosphäre noch Lebensmöglichkeiten zulassen. Irgendwelche Berechnungen darüber anzustellen, hätte aber gar keinen Sinn, da wir nicht wissen, wie die Achsenlage der Venus im Raume ist, und wie es daher mit der Zoneneinteilung und dem Jahreszeitenwechsel bestellt ist.

Wie dem auch sei, auf alle Fälle zeigen uns unsere Überlegungen, daß unsere Erde in bezug auf den Wärmehaushalt zwischen dem zu kalten Mars und der zu heißen Venus die günstigste kosmische Stellung im Planetensystem einnimmt, und daß bei keinem anderen Planeten die verschiedenen kosmischen Lebensbedingungen so vorteilhaft ausgewogen sind, wie gerade bei ihr — höchstens bei Venus können wir noch ein großes Fragezeichen machen, das solange bestehen bleiben wird, als wir nicht neue Mittel und Wege finden werden, um Genaueres über ihre Rotation und Oberflächenbeschaffenheit zu erfahren.

Wenn wir die *Rotationszeiten* der Planeten, die ja im Hinblick auf diese Dinge eine sehr große Rolle spielen, miteinander verglichen, so fällt uns etwas sehr Eigentümliches auf: Die großen Planeten, Jupiter, Saturn und wahrscheinlich auch Uranus und Neptun, haben trotz ihrer Größe eine sehr schnelle Umdrehungszeit — Jupiter rotiert in 9 Std. 50 Min., Saturn in 10 Std. 14 Min. um seine Achse, Uranus und Neptun wahrscheinlich in nicht viel längerer Zeit. Die viel kleineren Planeten Mars und Erde rotieren in rund 24 Std., Venus in vielleicht 15 Tagen und der kleine Merkur, der sonnen nächste Planet, wahrscheinlich in 88 Tagen (d. h. er kehrt der Sonne stets die gleiche Seite zu, da seine Umlaufszeit um die Sonne ebenfalls 88 Tage beträgt). Im allgemeinen nimmt also die Umdrehungszeit der Planeten zu, je geringer ihre Entfernung von der Sonne ist. Ein strenger gesetzmäßiger Zusammenhang zwischen Sonnenentfernung und Rotationsdauer ist aber nicht vorhanden, offenbar spielt hier in zweiter Linie auch die *Größe* der Planeten eine Rolle insofern, als große Planeten im allgemeinen schneller rotieren als kleine. Diese Gesetzmäßigkeit ist so auffällig, daß man unwillkürlich nach einer Erklärung dafür sucht. Wir können an dieser Frage nicht vorübergehen, weil ihre — aller Wahrscheinlichkeit nach richtige — Lösung sehr eng mit einem Problem verbunden ist, das schon früher vor uns auftauchte, ohne daß wir eine Antwort darauf geben konnten. Wir fanden nämlich bei der Betrachtung der Erdrotation als des uns durch die Natur gegebenen Zeitmaßes, daß die Umdrehung der Erde

langsamer zu werden scheint, wenn auch nur in so geringem Maße, daß viele Jahrhunderte nötig sind, um diese Verlangsamung meßbar zu machen. Es muß demnach eine *abbremsende Kraft* wirksam sein, der die sich drehende Erde unterworfen ist. Woher stammt diese Kraft, die den Tag langsam, aber stetig verlängert?

Die Antwort auf diese für das zukünftige Schicksal der Erde so bedeutungsvolle Frage hat uns G. H. Darwin, der Sohn des bekannten großen Naturforschers, in seiner Theorie der *Gezeitenreibung* gegeben. Er geht aus von der ebenso bekannten wie merkwürdigen Tatsache, daß unser *Mond* der Erde, seinem Zentralkörper, immer die gleiche Seite zukehrt, so daß wir von dem uns nächsten Himmelskörper nur die eine Hälfte der Oberfläche kennen. Ist es ein merkwürdiger Zufall, daß die Rotationszeit des Mondes genau gleich seiner Umlaufzeit um die Erde ist, oder besteht hier eine naturgesetzliche Notwendigkeit? Diese Frage legte sich der jüngere Darwin vor und beantwortete sie durch folgende Überlegung: Der Mond erzeugt durch seine Anziehungskraft auf der Erde Ebbe und Flut. Da ein großer Teil der Erdoberfläche mit Flüssigkeit bedeckt ist, entsteht eine Aufwölbung des Flüssigkeitsspiegels an zwei entgegengesetzten Stellen der Erdoberfläche, deren Verbindungslinie nach dem Monde zu orientiert ist. Unter diesen Aufwölbungen, den Flutbergen, dreht sich die schnell rotierende feste Erde hinweg, es müssen also zwei Flutwellen um die meerbedeckte Erde hinwegbrausen, die ständig aus den Ebbegebieten durch Zustrom gespeist werden. Diese ständige Strömung, die offenbar der Erdrotation entgegen läuft, muß — da ja das Wasser als schwerer Körper jeder Bewegung einen Widerstand bietet, zu einer merklichen inneren Reibung führen. Diese „Gezeitenreibung“ aber ist es, die auf die Erdrotation ständig bremsend einwirkt. Durch sie wird also die Umdrehung der Erde ständig, wenn auch fast unmerklich, verlangsamt — dieser Prozeß wird so lange andauern, bis die Flutwelle zum Stillstand gekommen ist und damit jede Flutbewegung, also auch jede Reibung aufhört. Wann aber wird dies sein? Dann, wenn die Erdrotation so langsam geworden ist, daß ein Tag gleich der Umlaufzeit

des Mondes ist, also die Erde dem Monde stets die gleiche Seite zuwendet. Hierin liegt gleichzeitig die Erklärung für die merkwürdige Erscheinung, daß wir vom Monde nur eine Seite zu sehen bekommen: Der Mond muß in grauer Vorzeit ein Körper mit flüssiger Oberfläche gewesen sein, damals, als er noch von heißen Lavamassen überflutet war. Seine Rotationsdauer muß zu jener Zeit noch kurz gewesen sein, die nahe Erde mit ihrer gewaltigen Anziehungskraft bewirkte in diesem Meer glühend flüssiger Mineralien Gezeitenwellen von großem Ausmaß und demgemäß auch eine Gezeitenreibung. Aus drei Gründen leuchtet ein, daß der Bremsprozeß, der dadurch wirksam wurde, schon längst zum Abschluß gekommen ist, während der entsprechende, vom Monde auf die Erde wirkende Bremsvorgang langsam abläuft und erst in vielen Jahrmillionen abgeschlossen sein wird: Erstens ist der Mond ein viel kleinerer Körper, der einer Bremswirkung eine viel geringere Trägheit entgegenzusetzen hat, als die Erde. Zweitens war die Gezeitenkraft der Erde ungleich größer. Drittens aber fand die Flutbewegung auf dem Monde in einer zähflüssigen Materie statt, deren innere Reibung außerordentlich viel größer war als die des leichtbeweglichen Wassermantels der Erde.

Die gleiche Theorie läßt sich nun auch auf die Planeten anwenden, die um die Sonne kreisen und daher mehr oder weniger der Gezeitenkraft und der Gezeitenreibung durch die Sonne unterworfen sind. Wir haben gesehen, daß auch die Erde merklicher Gezeitenwirkung durch die Sonne ausgesetzt ist; diese kommt aber nicht so sehr zur Geltung, weil die Gezeitenwirkung des Mondes soviel stärker ist. Venus und Merkur aber haben keine Monde, auch sind sie der Sonne näher. Es ist nicht von der Hand zu weisen, daß die vermutete lange Rotationszeit der Venus eine Folge der Gezeitenreibung durch die Sonne ist. Über die Rotation des Merkur wissen wir auf Grund direkter Beobachtungen gar nichts — wenn wir heute annehmen, daß Merkur der Sonne immer die gleiche Seite zuwendet, so beruht diese Annahme hauptsächlich auf der Theorie der Gezeitenreibung, die bei diesem kleinen Körper in so großer Sonnennähe sicher schon vor undenklichen

Zeiten dieselbe Wirkung erzielt haben muß, die wir bei unserm Monde beobachten. Im Gegensatz dazu ist die Gezeitenreibung durch die Sonne bei den großen sonnenfernen Planeten verschwindend klein. Sie sind zwar der Gezeitenwirkung ihrer Monde unterworfen, aber wenn auch z. B. die großen Jupitermonde gewaltige Körper sind, die an Größe den Erdmond, zum Teil sogar den Planeten Merkur übertreffen, so ist doch ihre Masse im Verhältnis zu der ihres Zentralkörpers klein. Während die Masse des Erdmondes etwa $\frac{1}{80}$ der Erdmasse beträgt, haben wir für die Masse des größten Jupitertrabanten weniger als $\frac{1}{10\,000}$ der Jupitermasse anzusetzen. Die Bremskraft der Gezeitenreibung durch die Monde kann also der ungeheuren Rotationsenergie des Jupiter nur wenig anhaben. Jupiter und die andern Riesenplaneten haben daher ihre schnelle Umdrehungsgeschwindigkeit bewahrt.

Die Überlegungen, die wir soeben zu Ende geführt haben, zeigen uns mit aller Deutlichkeit, daß unsere Erde als Planet und Lebensträger nicht nur in ihrer räumlichen Einordnung in den Organismus des Sonnensystems außerordentlich bevorzugt ist, sondern daß auch der zeitliche Ablauf ihrer Entwicklung nicht übersehen werden darf, wenn wir ihre besondere Stellung im Kosmos würdigen wollen. Denn die Gestirne des Weltalls sind nicht ewig. Sie sind — wie Mensch, Tier und Pflanze auf der Erde — dem Gesetz des Werdens und Vergehens unterworfen. Die Dinge sind nicht von jeher so gewesen, wie sie heute sind, und sie werden nicht immer so bleiben. Die Sonne, die uns Licht, Wärme und Leben gibt, war einmal heißer als heute, und sie wird — im Laufe von Jahrmilliarden — ihre Strahlungsenergie, die sie so verschwenderisch aussendet, verbrauchen und damit kälter und kälter werden. Vor langer Zeit war die Sonne so heiß, daß auf der Erde vermutlich Zustände herrschten, wie heute auf der Venus — einst wird sie so abgekühlt sein, daß wir auf unserer Erde frieren, wie die Bewohner des Mars (wenn es sie geben sollte) heute frieren werden. Dafür wird dann vielleicht die Temperatur auf der Venus so angenehm sein, daß sie (wenn alle andern Bedingungen erfüllt sein sollten) zur Besiedlung

geeignet ist. Wir sehen also, daß die Frage des Lebens auf den Planeten nicht zuletzt auch eine Zeitfrage ist. Es ist, wenn Leben möglich sein soll, nicht nur notwendig, daß gewisse räumliche Vorbedingungen erfüllt werden, sondern auch, daß sie gleichzeitig und im rechten Augenblick erfüllt werden. Vielleicht werden eines Tages auch die großen Planeten, z. B. Jupiter, abgekühlt sein und eine feste Oberfläche besitzen, auf der Leben bestehen könnte. Aber die Sonne hat schon jetzt nicht mehr die Kraft, diesen fernen Planeten zu erwärmen, wieviel weniger in so weiter Zukunft! Wenn also die Entwicklung für Jupiter so verläuft, wie ich es soeben ausgemalt habe, dann kommt sie viel zu spät. Anders bei den sonnen-nahen Planeten: Venus hat schon jetzt eine lange Umdrehungszeit, soviel wir wissen. Wenn endlich die Zeit kommt, daß die Wärmeverhältnisse für Venusbewohner erträglich sein könnten, wird vielleicht die Gezeitenreibung ihr bremsendes Werk vollendet haben, und Venus wird — sehr zum Nachteil etwai-ger Lebewesen — auf der einen Hälfte ewige Sonnenglut, auf der andern ewige Nacht und Kälte erleiden.

Der deutsche Naturforscher und Philosoph Gustav Theodor Fechner hat in der Mitte des vorigen Jahrhunderts einen sinnreichen Vergleich zwischen dem „Leben“ der Gestirne und der irdischen Wesen aufgegriffen und ihn mit erstaunlicher wissenschaftlicher Gründlichkeit verfochten und zu einer umfassenden Theorie ausgearbeitet. Für ihn sind die Gestirne, besonders aber die Planeten, wirkliche Lebewesen, Organismen höherer Art mit besonderen, ihren Größenverhältnissen angepaßten körperlichen Funktionen, die, so folgert Fechner durch einen kühnen Analogieschluß, auch eine bewußt erlebte seelische Einheit bedingen. Nach Fechner ist also auch die Erde als Planet ein Lebewesen von kosmischer Größe, das sein lebendiges Dasein im Spiel der kosmischen Kräfte als Individuum einer höheren Welt erlebt. Der feste Erdkörper ist sein Knochengerüst, das in stetigem Kreislauf seine Oberfläche umflutende und überströmende Wasser sein Lebensblut, die grünende und wieder verwelkende Vegetation seine Atmung, die Gesamtheit der organischen und unorganischen Umsetzungsprozesse sein Stoffwechsel, das

höhere tierische und menschliche Leben vielleicht in seinem Zusammenspiel die physiologische Grundlage seines geistigen und seelischen Lebens. Dieses Wesen Erde aber steht nicht allein im unendlichen Raum. Durch das Wirken der kosmischen Schwere ist es gebunden an seinen Lebensquell, die Sonne, mit tausend Fäden ist es wechselwirkend geknüpft an andere Organismen, die den Raum beleben. Es fängt Strahlung ein und sendet Strahlung aus — das weitverzweigte Netz seines magnetischen Feldes, das so empfindlich auf jeden Wechsel der einströmenden Energien reagiert, gleicht den Sinneswerkzeugen, die irdische Kleinwesen in ihre Umgebung wie Fühler ausstrecken.

Es ist ein hübsches und anregendes Bild, das uns dieser geistvolle (im übrigen auch durch sehr nüchterne und heute noch anerkannte physikalische Forschungsergebnisse berühmte) Gelehrte in so seltsamer Weise ausmalt, ein Bild, in das wir zum Abschluß unserer Betrachtungen noch einmal alles das einzuordnen und im Zusammenhang zu übersehen vermögen, was uns die Kapitel dieses Buches über die planetaren Eigenschaften unserer Erde gelehrt haben. Ein Bild und ein Symbol, mehr nicht — mögen wir es nun, wie Fechner es tat, zur Grundlage eines Glaubens an eine allgemeine Weltbeseelung erheben oder, wie wir es besser tun, als ein Hilfsmittel ansehen, durch das es uns gelingt, die Fülle irdischen Lebens und irdischer Gewalten einzugliedern in die Weiten des unendlichen Raumes und in die Gemeinschaft der Weltkörper.

Wir dürfen, um uns dem Vorwurf der Unvollständigkeit nicht auszusetzen, zum Abschluß dieser Betrachtungen nicht vergessen, noch einen Blick in jene unermesslichen Fernen zu tun, aus denen — weit jenseits unseres Planetensystems — die Fixsterne und die kosmischen Nebelwelten zu uns herüberleuchten. Die Beziehungen, die zwischen ihnen und der Erde unmittelbar bestehen, sind geringfügig und fast belanglos. Wir bedienen uns dieser fernen Welten als Orientierungsmarken im Raum, der ohne sie dunkel und gestaltlos wäre. Im übrigen beeinflussen sie den Ablauf der irdischen Geschehnisse kaum. Die gesamte Strahlung, die von den Millionen Fixsternen (von denen das bloße Auge nur wenige tausend

zu sehen vermag) zur Erde gelangt, ist verschwindend gering, ebenso die Summe ihrer Anziehungskräfte, die den Lauf der Erde um die Sonne nicht zu stören vermag und höchstens den Weg der Sonne selbst mit ihrem gesamten Planetenanhang durch den Raum bestimmt, aber in einer Weise, die wir nicht deutlich zu erkennen vermögen, weil die Zeiten, in denen sie sich auswirken, einer Größenordnung angehören, die weit über menschliche Vorstellungen hinausgeht. Wir können es verstehen, daß diese Zusammenhänge so lose sind, wenn wir versuchen, uns über die räumliche Entfernung, die unser Sonnensystem von diesen Welten trennt, eine, wenn auch unvollkommene, Anschauung zu bilden. Wir haben gesehen (S. 17), daß es gelungen ist, von dem Durchmesser der Erdbahn als der größten uns zur Verfügung stehenden Basislinie ausgehend, nach dem Prinzip der Triangulation die Entfernung der nächsten Fixsterne zu messen. Der allernächste der Fixsterne ist ein heller Stern im südlichen Sternbild des Zentauren, genannt Alpha Centauri — seine Entfernung von der Erde ist so groß, daß sein Licht (das in jeder Sekunde 300 000 km zurücklegt) $4\frac{1}{2}$ Jahre braucht, um von ihm zu uns zu gelangen. Umgerechnet in irdische Maßstäbe, würde diese Entfernung etwa 50 Billionen km betragen, das ist mehr als 300 000mal soviel, wie die Entfernung Erde—Sonne beträgt, und mehr als das 500fache des Durchmessers der Neptunsbahn. Die gesamte Ausdehnung unseres Sonnensystems mit allen Planeten ist also sehr klein gegenüber den Entfernungen von Fixstern zu Fixstern. Wenn wir unsere Blicke zum Sternenhimmel erheben, so sehen wir dort ein dichtes Gewimmel von Welten, in dem sich ein ungeübtes Auge nur schwer zurechtfindet. Trotzdem müssen wir erkennen, daß in Wirklichkeit diese Sterne im Raum so dünn gesät¹ sind, wie etwa ein Päckchen Stecknadeln, das wir —

¹ Der ungeheure Raum zwischen den Fixsternen ist allerdings nicht gänzlich leer. Stellenweise ist er mit ausgedehnten Wolken sehr fein verteilter Materie erfüllt. Kleine Teilchen — von Atomgröße bis zu den Dimensionen gewichtiger Felsblöcke durchheilen ihn. Manche Ansammlungen solcher kosmischer Masse kommen aus den Tiefen des Raumes als *Kometen* zu uns — kleinere Körper stürzen als *Meteore* oder *Sternschnuppen* ständig auf die Erde. Atomtrümmer, die wahrscheinlich von den Fixsternen ausgestoßen

gleichmäßig verteilt — über die Wüste Sahara verstreuen würden.

Obwohl sich die Sonne, die keineswegs im Raume ruht, mit einer beachtlichen Geschwindigkeit mitsamt ihrer Planetenfamilie dahinbewegt, ist bei dieser gähnenden Leere des Raums ein Zusammenstoß mit anderen Sternen kaum zu befürchten. Trotzdem ist der Fall, daß sich zwei solcher Sonnen einmal begegnen oder wenigstens sich so weit nähern, daß sie sich gegenseitig beeinflussen, natürlich denkbar. Der englische Astronom Sir James Jeans hat diese theoretische Möglichkeit sogar zum Ausgangspunkt einer Theorie der *Entstehung des Planetensystems* gemacht. Er nimmt an, daß vor unermesslichen Zeiten unsere Sonne, die damals noch ein „alleinstehender“ Weltenbürger gewesen sein soll, eine derartige Begegnung mit einer anderen Sonne hatte. Beide Körper seien damals in geringer Entfernung und mit rasender Geschwindigkeit aneinander vorbeigesaust — es entstanden durch „Gezeitenwirkung“ gewaltige Flutberge, die zur Losreißung von Materie aus dem Sonnenkörper — wahrscheinlich auch aus dem Körper des fremden Gestirns — führte. Aus diesen Fetzen losgerissener Sonnenmaterie seien dann die Planeten entstanden.

Diese Theorie der Planetenentstehung hat viel Wahrscheinliches für sich, da sie verschiedene Einzelheiten im Aufbau unseres Sonnensystems zu erklären vermag. Wenn sie allerdings richtig ist, dann ergibt sich eine sehr überraschende Folgerung: dann müssen wir nämlich annehmen, daß nur sehr wenige von den Sonnen des Raumes von Planeten umkreist sind. Die Wahrscheinlichkeit, daß ein Stern auf seiner einsamen Wanderung durch den so dünn besiedelten Raum einem Nachbar begegnet, ist so unvorstellbar klein, daß die Aussicht für einen Lotteriespieler, das große Los zu gewinnen, ganz beträchtlich größer ist. Selbst wenn wir die Lebens-

werden, gelangen als „durchdringende Himmelsstrahlung“ zu uns: diese Teilchen haben eine ungeheure Geschwindigkeit und eine so große Durchschlagskraft, daß sie durch schwere Panzerplatten hindurchgehen. Ihre Gesamtwirkung ist aber so gering, daß sie nur mit sehr genauen Instrumenten festgestellt werden kann.

dauer einer Sonne zu vielen Billionen Jahren abschätzen, wird ihre Möglichkeit, zu einer „Familie“ auf diese Weise zu kommen, sehr klein sein. Jeans rechnet damit, daß in dem ganzen gewaltigen Weltenkomplex, den wir als das *Milchstraßensystem* bezeichnen und der viele Milliarden einzelner Sonnen umfaßt, die Planetensysteme zu zählen sind. Wenn diese Theorie richtig ist (sie braucht es nicht zu sein), dann allerdings dürfte es schwer sein, das Leben auf Planetenoberflächen als *die* Erscheinung zu betrachten, die dem ganzen gewaltigen Weltenbau erst seinen Sinn und seine eigentliche Bestimmung gibt. Dann ist die Besiedlung der Erde mit organischem Leben nicht der natürliche Höhepunkt im Dasein eines Weltkörpers, dem glückliche Umstände die dazu notwendigen Vorbedingungen gegeben haben, sondern ein Ausnahmefall, der fast als einmalig betrachtet werden muß. Denn gesetzt, es gäbe tatsächlich in der ganzen Milchstraßensystem einige tausend Sonnen, denen der Zufall Planeten geschenkt hätte: wieviel andere Bedingungen müßten noch erfüllt sein, damit auch nur *einer* dieser Planeten so günstig bedacht sei, wie wir es von unserer Erde wissen! Wir können darüber nun denken, wie wir wollen: wir können — wenn auch auf dem Wege über eine umfassende Welterkenntnis — zu der naiven Vorstellung unserer Ahnen zurückkehren, daß der Mensch das Maß aller Dinge sei und der ganze Aufwand von Milchstraßen, Nebeln und Sonnen nur dazu da sei, um dem Menschen und seinem Geschlecht eine kurze Lebensblüte von ein paar tausend oder hunderttausend Jahren zu schenken. Oder, wenn man Pessimist ist, kann man denken, das ganze wimmelnde Leben auf der Haut unseres Planeten Erde sei eine Abnormität, eine Krankheit vielleicht, von der dieser unglückliche Weltkörper befallen ist, die aber, Gott sei Dank, selten und kaum ansteckend ist. Oder aber, und das ist die letzte Möglichkeit, man glaubt, daß der Theoretiker sich doch geirrt hat, und bevorzugt die ältere Auffassung, daß Planeten, wenn nicht um alle, so doch um unzählige Sonnen kreisen, und daß somit die Existenzbedingungen für lebendige Wesen nicht ganz so selten gegeben werden, wie es den Anschein hatte.

Welche Auffassung die richtige ist, können wir nicht sagen. Diese Dinge gehen weit über den Rahmen hinaus, den exakte Forschung mit ihren sicheren Ergebnissen erfüllen kann. Mit unseren heutigen Mitteln können wir diesen Rahmen kaum noch erweitern. Wir müssen darauf vertrauen, daß es der Technik kommender Generationen gelingen wird, die Erdschwere zu überwinden und die Geheimnisse anderer Planeten, wenigstens der nächsten, an Ort und Stelle zu lüften. Dann erst dürfen wir hoffen, sowohl über die Rolle des Lebens im Weltall als auch ganz allgemein über alle Dinge grundsätzlich Neues zu erfahren, die mit der Beschaffenheit und dem Aufbau der Himmelskörper zusammenhängen, und die daher auch jeden angehen, den die Erde als Planet interessiert.

Sachverzeichnis.

- Abplattung der Erde** 27, 31.
Aristarch 9, 81, 98.
Aristoteles 19.
Astrologie 136.
Atmosphäre der Planeten 141f.
— **Erhaltung der** 140.
— **Fehlen der — beim Mond** 95f.
Aufbau der Erde 126f.
- Barometer, Höhenmessung mit dem**
66f.
Bessel 3, 17.
Breite, Bestimmung der geographischen
57.
- Chandler** 119.
- Darwin, G. H.** 147.
Deklination, magnetische 123.
Dichte der Erde 128.
— **der Sonne** 105.
Drehwaage 128.
Durchmesser der Erde 31.
— **der Erdbahn** 100.
- Eiszeiten** 111.
Ekliptik 39, 69.
Elektronenbahnen (Polarlicht) 125f.
Energie der Sonnenstrahlung 109.
Epizykeltheorie 7.
Eratosthenes 21.
Erde s. auch unter **Spezialrubriken**.
Erdbeben 91, 129.
Erdkörper, Aufbau des 130.
Erdoberfläche, Erforschung der 5f.
Erdpole, geographische 116f.
— **magnetische** 121—123.
— **Wanderung der** 118.
Erdrotation, Regelmäßigkeit der 46f.
Eros (kl. Planet) 104.
Eudoxos 7.
Euler 119.
- Fechner** 150.
Fernel 24.
Fixsterne, System der 16.
— **Entfernung der** 17, 152.
Fixsternsphäre 6.
Fraunhofer 105.
Fraunhofersche Linien 106.
Frühantike, Weltbild der 5.
Frühlingspunkt 72.
Fundamentalsterne 46.
- Galilei** 3, 13, 112.
Gauß 84.
Geländeaufschlußverfahren 133f.
Geologie 132f.
Geoid 34.
Gezeiten (Tiden) 85f.
— **des Erdkörpers** 91.
— **im Luftdruck** 90.
— **-perioden** 87.
— **-reibung** 147.
Giordano Bruno 16.
Gnomon 42.
Gradmessung 23f.
Gradnetz 56.
Gravitationsgesetz 14.
Größe der Erde s. **Durchmesser**.
— **erste Messung der** 21.
— **Methode der Bestimmung der** 23.
— **der Planeten** 140f.
— **der Sonne** 97f., 104.
- Halley** 103.
Hayford 31.
Hebdogramm 78.
Herschel 15f.
Hipparch 38, 71, 81.
- Jahr, siderisches** 71.
— **tropisches** 72.
Jahresanfang 73, 79.
— **astronomischer** 80.

Jeans 153.
Julianisches Datum 79.

Kalender 72f.

— arabischer 83.
— gregorianischer 75.
— julianischer 74.
— römischer 73.

Kalenderreform 76.

Kepler 3, 11, 135.
Keplersche Gesetze 12, 102.
Kontinentalverschiebung 120.
Kopernikus 3, 9, 135.
Kosmische Bedingtheit des Lebens
139f.

Kreisel, Erde als 92f.

Kreiselkompaß 64.

Küstner 119.

Kulmination 20.

Länge, Bestimmung der geographi-
schen 60f.

Längenmaße 25.

Leben auf den Planeten 139f.

Leverrier 15.

Logg 65.

Lotabweichung 35.

Lufttrübung 115.

Magnetische Aufschlußmethoden 134.

— Pole der Erde 121.

Magnetisches Feld der Erde 121f.

— Feld und Sonnenflecken 123.

Masse, Trägheit der 13.

— der Sonne 105.

— der Erde 128.

— des Mondes 81.

Meridian 20.

— -ellipse 31.

Meter, Definition des 29f.

Metonscher Zyklus 83.

Milankovitsch 111.

Milchstraße 17.

Mißweisung 64.

Monat 70f.

— siderischer 82.

— synodischer 83.

Mond 80f.

— -bahn 81f.

— -distanzen 63.

— -einflüsse auf die Erde 85f.

— und Wetter 90f.

— -tag 86.

Neptun, Entdeckung des 15.

Newton 3, 14, 85, 135.

Niveaulinien der Schwerkraft 33.

Nivellement 34.

Normaluhren 45.

Nullmeridian 60.

Ortszeit 49.

Osterformel 84.

Parallaxe 17, 101f.

Parminedes 19.

Passatwinde 54.

Pendelversuch (Foucault) 52.

Planeten, Atmosphäre der 141.

— Größe der 140.

— Rotation der 144f.

— Temperatur der 142f.

— Wirkung der — auf die Erde 137.

Planetensystem 138.

— Entstehung des 153.

Pol der Ekliptik 94.

Polarlicht 125f.

— -stern 19, 54.

Pole s. Erdpole.

Polhöhe (s. auch geogr. Breite) 20,
57f.

Polhöenschwankungen 118f.

Präzession 71f., 92f.

primum mobile 5.

Ptolemäus 7.

Quarzuhren 47.

Refraktion 57.

Regelmäßigkeit der Erdrotation 46.

Richer 28, 103.

Rotation der Erde 46f.

— der Planeten 144—146.

Rotationsellipsoid, Erde als 27, 31.

Scheiner, Chr. 112.

Schiefe der Ekliptik 111.

Schwerkraft 14, 28, 33f.

— Niveaulinien der 33.

Schwerpunkt des Systems Erde—
Mond 81.

Schweydar 91.

Seemeile 57.

Seismogramm 129.

Snellius 26.

Solarkonstante 110.

— Schwankungen der 112.

Sonne 97f.
— Dichte der 105.
— Gezeiteneinfluß der 89.
— Größe der 97, 104.
— Masse der 105.
— Temperatur der 107.
Sonnenflecken 111.
— und magnetisches Feld 123f.
— -periode 112.
Sonnenfinsternis 97f.
Sonnenparallaxe 102.
Sonnensystem 138.
Sonnenuhren 42f.
Sothisperiode 73.
Spektrallinien 105.
Spiegelsextant 59.
Störmer 125.
Strahlung der Fixsterne 151.
Strahlungshaushalt der Sonne 108f.

Tag 36f.
— mittlerer Sonnen- 41, 47f.
— wahrer Sonnen- 41, 47f.
— Stern- 39.
Temperatur der Sonne 107.
— der Planeten 142f.
— und Sonnenflecken 114f.
Temporalstunden 41.
Tiden 85f.
Tierkreis 39, 69.
— -bilder 69.

Toise 25.
Trennschichten 130.
Triangulation 26.
Trigonometrische Punkte 26.
Tycho Brahe 10.
— Weltsystem des 11.

Umdrehungszeit s. Rotation.
Universalinstrument 58.
Uhren 21, 42f.
Uhrgang 45.
Uhrstand 45.

Venus, Rotation der 145.
— Temperatur der 142f.
— -vorübergang 103.
Vulkane 97, 131.

Wasseruhren 42.
Wegener, A. 120.
Weltzeit 50.
Wendelin, G. 100.
Woche 77.

Zeitbestimmung 46.
Zeitgleichung 48.
Zeitzeichen 63.
Zentrifugalkraft 31.
Zirkumpolarstern 57.
Zonenzeiten 50.

Dr. D. S. Evans

EXPLODIERENDE STERNE

Aus dem Buch „Frontiers of Astronomy“

Ein Tunichtgut oder ein Sonderling in der Familie ist oft viel reizvoller als deren würdige und angesehene Mitglieder... So ist es auch mit den Sternen: gerade die „anormalen“ unter ihnen sind am interessantesten.

Eine sonderbare Sternklasse sind die sogenannten „weißen Zwerge“, sehr heiße, aber trotzdem außerordentlich lichtschwache Sterne. Da nun heiße Körper eine gewaltige Ausstrahlung per Flächeneinheit besitzen, müssen diese weißen Zwerge also eine sehr geringe Oberfläche beziehungsweise einen sehr kleinen Durchmesser haben. Der erstentdeckte Stern dieser Art war der Begleiter des Sirius, des hellsten Sternes unseres Winterhimmels. Im Jahre 1862 fand Alvan Clark bei der Prüfung eines großen Fernrohrobjectives, daß Sirius einen solchen schwachen Begleiter besaß, und er bestätigte damit frühere Schlußfolgerungen von F. Bessel, der auf Grund genauer Messungen der Siriuspositionen zu der Ansicht gekommen war, daß sich Sirius um einen schwachen Begleiter bewegen müsse. Sirius ist also ein Doppelstern, und für die Mitglieder solcher Sternsysteme können aus ihrer gegenseitigen

Schwereanziehung die Massen berechnet werden. Die Besonderheit von „Sirius B“, wie man den schwachen Begleiter nannte, wurde erst nach dem ersten Weltkrieg offenbar, als man nämlich erkannte, daß er die absolute Größe 11,3 hatte, daß seine Masse 0,96 der Sonnenmasse war — und daß er zu den „weißen“ Sternen gehörte.

Was bedeutet diese „Größe“? Um die wahre, die absolute Helligkeit von Sternen vergleichen zu können, müssen wir in unserer Vorstellung alle Sterne in eine bestimmte Standarddistanz verschoben betrachten. Man hat dazu die Entfernung von 10 „Parsec“ gewählt (1 Parsec ist jene Entfernung, von der aus ein Beobachter die Bahn, die die Erde um die Sonne beschreibt, als einen Kreis von 1 Bogensekunde Halbmesser sehen würde). Dies entspricht 308 Billionen km oder 31 Lichtjahren, einer Entfernung also, zu deren Durchmesser das Licht mit seinen 300 000 km Sekundengeschwindigkeit 31 Jahre brauchen würde. Demgemäß ist zum Beispiel die absolute Helligkeit des Sternes Rigel im Orion —5,7 und die unserer Sonne +4,8. Da jede Größenklasse als 2,5mal heller definiert ist als die nächstfolgende, so ergibt sich, daß Rigel

etwa 100 000mal mehr Licht ausstrahlt als die Sonne. Die Leuchtkräfte der schwächsten Sterne andererseits, zu denen auch Sirius B gehört, sind viele hundertmal bis zu 10 000mal kleiner als die unserer Sonne...

Und was bedeutet „weiß“ für einen Stern? Die Astronomen haben erkannt, daß es rote, gelbe, blaue Sterne gibt — (nicht nur ihrem äußeren Eindruck nach, sondern noch viel präziser gekennzeichnet durch das Spektroskop, dieses wunderbare Hilfsmittel der modernen Astronomie) — und daß diese Sternfarben, die „Spektralklassen“, eine wirkliche Temperaturfolge darstellen. So strahlen beispielsweise die weißesten Sterne mit etwa 40000° und die rötesten mit 2000° . Man kam dazu, eine „Hauptlinie“ der Sternentwicklung aufzustellen; sie zeigt, daß heiße Sterne auch absolut sehr hell und groß sind. Ein weißer, aber sehr lichtschwacher Stern wie unser Sirius B fällt somit ganz aus der Reihe.

Die vorhin genannten Daten ermöglichten die Berechnung des Durchmessers von Sirius B, und dabei fand man, daß dieser nur 0.034 des Sonnendurchmessers beträgt. Masse dividiert durch Volumen gibt die Dichte der Materie, die sich also zu 34000facher Wasserdichte errechnet. Mit anderen Worten: 1 ccm von Sirius B wiegt 34 kg. Diese Folgerung begegnete zuerst offenem Zweifel; bald aber wurden andere Sterne der gleichen Art entdeckt, die alle die Größe von Planeten und die Masse von Sternen besaßen. Der kleinste

unter ihnen, „Van Maanens Stern“, hat etwa die Größe der Erde.

Ein direkter Beweis für diese berechneten großen Dichten wurde durch Einsteins Relativitätstheorie geliefert, welche voraussetzte, daß in einem starken Schwerefeld alle „Spektrallinien“ gegen das Rot hin verschoben sein sollten. Diese Linien innerhalb des durch das Spektroskop gewonnenen bunten Farbenbandes eines Sternspektrums ermöglichen es dem Astronomen nicht nur, den chemischen Aufbau der Sterne zu analysieren, sondern auch deren Bewegungsverhältnisse, ebenso wie intime physikalische Zustände auf der Sternoberfläche, wie zum Beispiel Druck, Temperaturen, Strömungen, Schwerefeld, zu studieren.

Nun müssen auf der Oberfläche des Sirius die Atome einem Schwerefeld ausgesetzt sein, daß 800mal größer ist als das der Erde. Ein Körper, der auf der Erde 1 kg wiegt, würde also an die 800 kg wiegen, wenn er in die Nähe von Sirius B gebracht würde. Einsteins Voraussage wurde in der Tat durch die Beobachtung bestätigt: die „Rotverschiebung“, erzeugt durch die enorme Schwere, konnte von der durch die Sternbewegung hervorgerufenen Verschiebung klar getrennt werden, da sich ja Sirius und sein Begleiter gemeinsam durch den Raum bewegen. Da nun diese Wirkung des Schwerefeldes theoretisch proportional ist zu der Masse des Sternes, dividiert durch seinen Radius, so lieferte die bei Sirius B tatsächlich gefundene und gemessene Rotverschiebung also

eine weitere Methode, um die Masse und den Durchmesser eines weißen Zwerges zu erhalten.

*

Man kann sich des Schlusses nicht erwehren, daß Sterne aus so dichter Materie, falls sie wirklich existieren, wahrscheinlich recht häufig sind; sind sie doch nur dann hell genug, um überhaupt gesehen zu werden, wenn sie ganz in unserer Nähe sind. Wir kennen bisher 5 solcher Sterne, 4 von ihnen innerhalb von 5 Parsec von der Sonne (das heißt, wie wir oben sahen, innerhalb von 16 Lichtjahren, also ganz in unserer Nachbarschaft). Die gesamte Sternbevölkerung innerhalb dieses Abstandes beträgt aber nur etwa 40, so daß, wenn diese nahen Sterne wirklich eine Durchschnittsprobe der allgemeinen Sternbevölkerung darstellen, die weißen Zwerge zu den „gewöhnlichsten“ Sternen des Universums gehören!

Eine Erklärung dafür, wie denn eine so dichte Materie erzeugt werden kann, wird durch die moderne Kerntheorie des Atoms nahegelegt. In ihrem Normalzustand halten die Atome guten Abstand voneinander, und infolge der Abstoßung zwischen ihren Elektronenfamilien nehmen sie einen beträchtlichen Raum ein. Es konnte nun demonstriert werden, daß die Elektronen unter sehr hohen Drucken aus ihren Atomverbänden herausgerissen werden, so daß die Kerne, die nur einen winzigen Raum beanspruchen, allein zurückbleiben. Wenn dies in den weißen Zwergen geschah, dürfen wir also in ihnen wirklich die überdichte Ma-

terie annehmen; sie besteht demnach aus einer Anhäufung von vollständig „ionisierten“, das heißt elektronenfreien Atomkernen, vermengt mit den befreiten Elektronen, die ihnen einst angehörten. Diese „entartete Materie“ ist ein höchst bemerkenswerter Stoff, der gleicherweise Interesse wie Widerspruch unter den Wissenschaftlern erregt hat.

Aber noch interessanter ist die Frage, wie denn überhaupt diese Sterne entstanden sind. Ist, im besonderen, dieses Stadium der weißen Zwerge ein für alle Sterne normales? Die Frage wurde in einer Untersuchung des kürzlich verstorbenen Sir Arthur Eddington beleuchtet, der durch eine umfassende Arbeit ermittelte, wieviel Wasserstoff diese Sterne enthalten.

Der Wasserstoff ist einer der wichtigsten Bausteine der Sterne: bei den ungeheuren Temperaturen von Millionen von Graden im Sterninnern existieren dort die Atome nur in einem „stark beschädigten“ Zustand. In Zusammenstößen haben sie die meisten ihrer Elektronen verloren, und so ist die Materie im Sterninnern viel einfacher aufgebaut als außerhalb; wir dürften dort etwa 20mal mehr Wasserstoffatome finden als andere Atome. In neuerer Zeit konnten die Physiker nachweisen, daß die Sterne ihre riesige Strahlungsenergie erzeugen, indem sie Wasserstoff in Helium umwandeln.

Wenn nun die weißen Zwerge, wie man schließen könnte, absterbende Sterne, am Ende ihres Lebensweges wären, so müßten sie bereits ihren ganzen Wasserstoffvorrat verbraucht haben. Das ist

aber nicht der Fall. Eddington war zwar selbst überrascht, als er für den Wasserstoffgehalt Ziffern zwischen 0% und 100% fand, aber es scheint, daß es zwei Arten von weißen Zwergen gibt—solche von niedrigem Wasserstoffgehalt und andere, wie etwa Sirius B, mit mehr als 60% Wasserstoff. Es wäre verlockend, die erste Art der weißen Zwerge an das Ende der Sternentwicklung zu stellen, sie also als veraltete Sterne mit aufgebrauchtem Wasserstoff anzusehen. Wohin dann aber mit jenen weißen Zwergen, die zwar „abgestorben“ aussehen, die aber dennoch einen wohlgefüllten „Heizkessel“ besitzen? Ehe wir diese Frage beantworten, oder richtiger, ehe wir verschiedene versuchsweise vorgeschlagene Theorien beschreiben, müssen wir erst einige weitere Mitglieder unserer Galerie der Sternmerkwürdigkeiten vorstellen.

*

Da sind zunächst die sogenannten „Novae“ oder die neuen Sterne—ein Name übrigens, der schwerlich irreführender sein könnte und den sie infolge der üblichen Art ihrer Entdeckung erhielten. Irgendwo am Himmel, wo bisher kein Stern stand, taucht plötzlich einer auf. Damit er Aussicht hat, beobachtet zu werden, muß er dem freien Auge sichtbar werden oder wenigstens nicht weit unter dessen Sichtbarkeitsgrenze liegen. (Entdeckungen dieser Art werden häufig von Liebhaberastronomen gemacht, besonders von den an Sternschnuppen interessierten, die durch den ganzen Charakter ihrer Liebhaberei eine so genaue Kenntnis

der dem freien Auge sichtbaren Sterne besitzen, wie sie die meisten Berufsastronomen kaum je erwerben können. Heutzutage werden Novae auch auf den Harvard-Platten entdeckt—Himmelsphotographien, die alle zwei Tage aufgenommen werden.)

In Wirklichkeit liegt natürlich nicht die Neuschöpfung eines Sternes vor, sondern nur die plötzliche Lichtzunahme eines solchen, der bisher zu lichtschwach war, um gesehen werden zu können. Es ist oft schwer, festzustellen, welcher der vielen schwachen Sterne eines bestimmten Himmelsgebietes diese Katastrophe Jurchgemacht hat, und es ist noch seltener der Fall, daß Beobachtungen eines solchen Sternes noch vor seinem Ausbruch gemacht wurden.

Ein Nova-Ausbruch ist rein „explosiv“. Innerhalb von zwei oder drei Tagen vervielfacht ein solcher Stern seine Helligkeit hunderttausendmal. Natürlich kennen wir dieses Verhältnis zahlenmäßig nicht genau, da ja gewöhnlich die frühere Helligkeit des Sternes unbekannt ist. Im Mittel ist die endgültige wirkliche Helligkeit, die absolute Größe einer Nova etwa —7, das heißt also, daß sie um 12 Größenklassen oder um das 60 000fache heller als die Sonne ist. Die Helligkeit nimmt rapid zu; sobald aber das Maximum erreicht ist, wird sie langsam schwächer, um mit kleineren Schwankungen innerhalb von sechs Monaten oder eines Jahres zu verblassen.

Novae, die dem freien Auge sichtbar werden, erscheinen alle paar Jahre und folgen fast alle

dem gleichen Entwicklungsgang, wenn auch in manchen Fällen, wie zum Beispiel bei der „Nova Herculis 1934“, ein zweiter Ausbruch erfolgte. Zum Schluß verschwindet die Nova gewöhnlich für das freie Auge und bleibt nur noch dem Fernrohr zugänglich, obwohl von jetzt ab die Geschichte ihrer Vergangenheit sie unter all den tausenden gleichschwachen Sternen zur besonderen Beachtung heraushebt. Am meisten kann uns das Spektroskop über all das erzählen, was einem solchen Sterne wirklich widerfährt.

Es scheint, daß eine Nova tatsächlich explodiert. Aus irgendeinem Grunde erfährt ihre Zufuhr an strahlender Energie plötzlich einen derartigen Zuwachs, daß die Strahlung für die Menge der von ihr getragenen Materie zu groß wird. Eine gewaltige Gashülle wird daher von der Sternoberfläche abgeschleudert und bildet rund um den Stern eine ständig wachsende Kugel. Wir können diese nicht direkt sehen, aber wir können beobachten, wie zur Zeit des Maximums und später das Spektrum durch alle Anzeichen verrät, daß es in einem Gas und unter außerordentlich hoher Temperatur entsteht. Außerdem sind alle Spektrallinien (die infolge dieser Ursprungsbedingungen hell erscheinen) stark verbreitert.

Ein wichtiges physikalisches Gesetz, das sogenannte „Doppler-Prinzip“, lehrt, daß die Spektrallinien einer selbstleuchtenden Lichtquelle, die sich auf uns zu beziehungsweise von uns weg bewegt, gegen das blaue beziehungsweise gegen das rote Ende des

Spektrums hin verschoben werden. Nun beobachten wir bei einer Nova eine gewaltig ausgedehnte Gashülle, die sich mit einer Geschwindigkeit von, sagen wir, 1000 km per Sekunde erweitert. Es ist klar, daß nach dem Doppler-Prinzip das Licht des uns nächststehenden Teiles dieser Hülle, der sich uns also annähert, gegen das Blau hin verschoben wird. Entsprechend werden die Linien, welche von jenen Rändern der Hülle erzeugt werden, deren Materie sich senkrecht zu unserer Visierichtung bewegt, überhaupt keine Verschiebung zeigen. Dagegen wird die uns abgewandte Hälfte der Hülle, die sich von uns entfernt, eine Verschiebung nach dem Rot mit sich bringen. Das Ergebnis ist, daß die Linien einer sich ausdehnenden Gashülle enorm verbreitert erscheinen müssen. Und gerade das ist es, was wir bei einer Nova nach ihrem Maximum beobachten.

Bei einigen Novae wird eine Reihe von Hüllen von der Sternoberfläche abgeschleudert: das Spektrum wird dann sehr kompliziert. Die große Breite dieser hellen Bänder macht die Zuordnung bestimmter chemischer Elemente zu ihnen höchst schwierig.

*

Wenn wir gefragt werden, warum nun ein gewisser Stern eine Nova wurde, können wir nur die allgemeine Antwort geben, daß aus irgendeinem Grunde eine außerordentliche Erhöhung in der Energieproduktion des Sternes eingesetzt haben muß und daß diese für seine Stabilität zu groß wurde.

Das endgültige Schicksal einer Nova ist gleichermaßen unbekannt. Wenn sie wirklich von einer sich ständig ausdehnenden Gashölle umgeben ist, dürfen wir hoffen, daß diese schließlich groß genug wird, um sichtbar zu werden. Im allgemeinen werden wir lange darauf warten müssen, denn die Ausdehnungsgeschwindigkeit wird um so weniger katastrophentypischen Charakter zeigen, je mehr Raum das Gas erfüllt. Doch muß es durchaus nicht Jahrtausende dauern, die Gaswolke zum Beispiel, welche die „Nova Herculis 1934“ entwickelt hatte, war bereits 1940 groß genug, um als kleiner Lichtfleck von etwa drei Bogensekunden Durchmesser gesehen zu werden.

Sir Arthur Eddington hat vorgeschlagen, die weißen Zwerge in die Folge der Sternentwicklung einzureihen. Er stellte die These auf, daß die Sterne am Anfang praktisch nur aus Wasserstoff bestanden, und zwar in der Form großer dünner Kugeln. Diese zogen sich zusammen, wurden dabei heißer und begannen Licht auszustrahlen. Schließlich brachen sie zusammen und wurden zu weißen Zwergen mit noch immer hohem Wasserstoffgehalt.

Für das Weitere würden wir dann an besondere Atomprozesse im Sterninnern zu denken haben, die zur Erzeugung von Kohlenstoff und Stickstoff (ein Atom pro Stern würde genügen, um den Prozeß in Gang zu bringen) und den Stern dann auf den Weg seiner normalen Energieerzeugung führen würden, nämlich zur Umwandlung von Wasserstoff in Helium, wobei Kohlenstoff und Stickstoff

als Katalysatoren, das heißt als auslösender Faktor und Bindeglied des Prozesses, mitwirken. Dies würde sehr schnell und mit explosiver Gewalt vor sich gehen — der Stern würde zu einer Nova werden, sich schließlich aber „beruhigen“ und ein Mitglied der normalen Hauptreihe der Sternentwicklung, dann kleiner und kleiner werden und seinen Wasserstoff aufbrauchen, um schließlich als weißer Zwerg mit niedrigem Wasserstoffgehalt zu enden.

Dieser Theorie zufolge sind sowohl das Nova-Stadium als auch die beiden Stadien der weißen Zwerge ganz normale Meilensteine in der Geschichte eines Sternes. Die Idee ist anziehend, aber angesichts der spärlichen und ungewissen Daten in der Theorie und Beobachtung der weißen Zwerge gibt es augenblicklich keine Möglichkeit, ihre Richtigkeit oder Unrichtigkeit zu beweisen.

Für viele Astronomen ist das Wichtigste am Nova-Problem, daß für alle Novae übereinstimmend die absolute Maximalhelligkeit die „Minus-7“-Größe ist. Wenn also irgendwo am Himmel eine Nova auftaucht, können wir einen ziemlich sicheren Schluß auf ihre Entfernung ziehen, indem wir ihre (scheinbare) Helligkeit im Lichtmaximum messen und dann berücksichtigen, daß ihre wirkliche Helligkeit etwa -7 ist. Das ist zwar eine recht erhebliche Strahlung, aber etwas noch Strahlenderes und in noch größerer Ferne wäre unserer Forschung von großem Nutzen . . .

Die Natur hat uns diesen Wunsch in den „Supernovae“ erfüllt: in

mehrfacher Beziehung sehen diese Sterne wie Novae im großen Maßstabe aus. Sie leuchten plötzlich auf und sterben langsam ab. Ihre Spektra sind die eines überaus heißen Gases. Die Linien sind verbreitert, und viele der Spektralbesonderheiten können auf keinen uns bekannten Ursprung zurückgeführt werden. Die Ausschleudergeschwindigkeit der Gase beträgt etwa 3000 km per Sekunde. Die absolute Helligkeit einer Supernova ist etwa 14 , anders ausgedrückt, sie ist etwa 40 000 000 mal so hell wie die Sonne.

Aber die Ähnlichkeit ist nur oberflächlich. Es gibt keinen kontinuierlichen Übergang der Eigenschaften von Nova zu Supernova. Die letzteren bilden eine vollständig unabhängige Klasse, und wir wissen über ihren Ursprung noch weniger als über den der Novae. Supernovae sind verhältnismäßig selten; infolge ihrer großen Helligkeit können wir sie aber selbst noch in den größten Entfernungen sehen, in die unsere modernen Teleskope eindringen können.

Für unsere Beobachtungen schwacher Sterne (wie etwa der weißen Zwerge) mögen wir zwar auf so geringe Entfernungen wie bis zu zehn Parsec beschränkt sein — doch steht unserem Studium ein ganzes Universum voll von Supernovae offen. . . . Aber das heißt nicht viel. Bis zum Jahre 1939 waren etwa ein halbes Dutzend Supernovae beobachtet worden, die meisten von ihnen in fernen Sternensystemen. Nur zwei Supernovae kennen wir, die in unserem eigenen Sternsystem, in unserer

eigenen Milchstraße aufleuchteten. Die eine erschien im Jahre 1054 und wurde von den chinesischen und japanischen Astronomen jener Zeit aufgezeichnet. Die andere strahlte im Jahre 1572 auf und wurde unter anderem auch von dem berühmten dänischen Astronomen Tycho Brahe beobachtet. Beide waren hell genug, um mitten am Tage gesehen zu werden. Im Jahre 1885 erschien eine Nova, vermutlich eine Supernova, innerhalb des Andromedanebels, dem uns am nächsten stehenden Sternsystem.

Wir kennen das Ende der beiden erstgenannten Supernovae: in beiden Fällen konnten große Gaswolken in nächster Nähe ihrer vermutlichen Positionen aufgefunden werden, und es scheint in der Tat, daß diese Gaswolken die Trümmer der wahrscheinlich völlig zerfallenen Supernovae darstellen. Obwohl wir also nur wenig über Supernovae wissen, macht sie dennoch ihre große Helligkeit, die sie selbst in den größten astronomischen Entfernungen noch sichtbar werden läßt, zur Erforschung dieser tiefsten Tiefen des Raumes außerordentlich nützlich.

*

Gleichen Nutzen bieten uns gewisse Sternklassen, deren Ausstrahlung ebenfalls nicht ganz im Gleichgewicht mit der Menge der Sternmaterie steht. Wie wir sahen, bricht der Stern, wenn wir zuviel Materie von der Strahlung tragen lassen, in Selbstverteidigung zusammen. Geben wir ihm zuwenig Materie, wird er sich selbst in die Luft sprengen. Es mag nun ge-

schehen, daß der Stern sowohl im Zusammenbrechen wie im Explodieren zuviel des Guten tut, so daß er, wenn er zusammenbricht, schon wieder bereit ist, sich auszudehnen; und wenn er voll ausgedehnt ist, schon wieder reif ist zum Zusammenbruch... Das Ergebnis wird ein „pulsierender Stern“ sein, der sich abwechselnd ausdehnt und zusammenzieht, ein Vorgang, der von entsprechenden Lichtschwankungen begleitet sein müßte.

Wir kennen einen solchen Sternstypus unter den zahlreichen verschiedenartigen Klassen von „veränderlichen Sternen“, nämlich die sogenannten „Cepheiden“. Genaue Untersuchungen haben gezeigt, daß die Cepheiden in der Tat in der eben skizzierten Weise pulsieren. Eine ihrer anderen wichtigen Eigenschaften ist die von Miss Leavitt in Harvard bereits 1913 aufgefundene Beziehung zwischen ihrer Helligkeit und der Dauer ihrer Lichtschwankungen. Wenn wir zum Beispiel wissen, daß das Licht eines Cepheiden in 100 Tagen eine seiner regelmäßigen Schwankungen vollendet, können wir aus dem erwähnten Gesetz ablesen, daß er 40 000mal heller ist als die Sonne; wenn die Periode 10 Tage währt, so ist er nur 1200mal so hell und so weiter. Dieses Gesetz

liefert uns also einen höchst wertvollen Entfernungsanzeiger.

Unsere Aufstellung von Sternmerkwürdigkeiten umfaßt nur die berühmteren unter den „schwarzen Schafen“. Es gibt aber Sterne, deren Zusammenziehung noch viel eigenartiger vor sich geht als in den erwähnten Fällen. Da sind zum Beispiel Doppelsterne, die sich unter dem Einfluß ihrer gegenseitigen Schwereanziehung umeinander bewegen, mit auffallenden Eigentümlichkeiten im Spektrum, von denen einige dadurch erklärt werden können, daß diese Sterne einander so nahe sind, daß sie sich gegenseitig in eiförmig geformte Massen auseinanderziehen, oder daß, wenn der eine der Sterne hinter dem anderen steht, ein Teil seines Lichtes nur durch die Gashüllen des anderen hindurch gesehen wird, eine Sachlage, die ein höchst kompliziertes Spektrum erzeugt. Dann gibt es weiter die „überheißen“ Sterne mit ihren besonders ausgedehnten Atmosphären. Dann die „übermäßigen“ Riesensterne, die von Trümpler entdeckt wurden. Dann die abnorm kalten und roten Sterne, deren Temperatur nur noch knapp oberhalb des Schmelzpunktes des Platins liegt. Und so geht die Reihe weiter in endloser Mannigfaltigkeit...

Mit Genehmigung des Verlags Sigma Books, London



Additional material from *Die Erde als Planet*,
ISBN 978-3-642-89079-6, is available at <http://extras.springer.com>

