

ELEMENTE
DER
HIMMELSKUNDE UND MATHEMATISCHEN
GEOGRAPHIE

von
Dr. Hermann Gerlach.

Beilage zu den Schulnachrichten des Friedrich-Franz-Gymnasiums zu
Parchim.

1894.

Parchim.
Druck von G. Gerlach.

1894.

9pa
5 (1894)

6526



FLEMMEN

1804

HIMMELSKUNDE UND MATHEMATISCHEN
GEOGRAPHIE

Dr. Hermann Götze

1804

1804

Herrn Oberschulrat Dr. Hartwig
in Schwerin

zur

Erinnerung

an

seinen vor 25 Jahren erfolgten Eintritt

in des

Hohen Grossherzoglich Mecklenburgischen Ministeriums
Abteilung für Unterrichtsangelegenheiten

gewidmet im Namen

des

Friedrich-Franz-Gymnasiums

zu

Parchim.

Herrn Oberschulrat Dr. Hartwig
in Schwerin

Erklärung

am 23. März 1888

Ich, der Unterzeichnete, habe die
Abhandlung des Herrn Dr. Hartwig

über die

g
T
H
i
H
n
b
g
S
F
n
F

i
l
s
v
s
F
v
d
d
g
w
S
n
A
F
v
n
C
H
l
t
F
w

Einleitung.

Der gestirnte Himmel erscheint uns als eine etwas abgeplattete, mit leuchtenden Punkten übersäete Hohlkugel, die Erde als eine kreisförmige, teils ebene, teils von Bergen und Thälern durchsetzte Scheibe, welche im Horizonte mit dem Himmel zusammenstösst. Der Beobachter glaubt sich stets im Mittelpunkte dieser Scheibe zu befinden und erhält den Eindruck, als wenn sich das ganze Himmelsgewölbe in regelmässiger Wiederkehr um die feststehende Erdscheibe herum bewegte. Bei dieser Bewegung scheinen die Fixsterne ihre gegenseitige Lage nicht bemerkbar zu verändern, die einzelnen Sternbilder stets und überall die von Alters her bekannten Formen zu zeigen. Dagegen bewegen sich dem Augenscheine nach Sonne, Mond, Planeten und Kometen in eigentümlichen Bahnlilien inmitten der Fixsterne.

Während die Beobachtung des gestirnten Himmels bis in uralte Zeiten zurückreicht, so gelangte man erst in den letzten Jahrhunderten zu einer gesicherten Deutung der Erscheinungen. Die Chaldäer sahen in den Planeten frei wandelnde Gottheiten. Von solchen Vorstellungen machten sich die griechischen Philosophen frei; sie vermuteten die Körnernatur dieser Sterne, wenn sie auch deren Entfernung von der Erde für nicht allzugross hielten. Aber die Natur der Fixsterne blieb ihnen rätselhaft. Entweder deuteten sie dieselben als leuchtende Punkte am undurchsichtigen Himmelsgewölbe, oder als kleine Oeffnungen in demselben, durch welche ein äusserer Feuerhimmel, das Empyreum, seine Strahlen hindurchsende. An der Scheibenform der Erde hielt noch der vielgereiste Herodot fest. Später lehrte allerdings Aristarch (270 v. Chr.) die Achsendrehung der kugelförmigen Erde, wie sie vielleicht auch den alten Aegyptern bekannt war, doch gelangte diese bessere Einsicht nicht zu allgemeiner Anerkennung. Vielmehr nahmen Hipparch (150 v. Chr.) und Ptolemäus (150 n. Chr.) wieder eine Bewegung des Fixsternhimmels an, und diese Annahme wurde dann für lange Zeit zur herrschenden. Nach dem Fall des Heidentums verschwand selbst die noch geltende Lehre von einer Kugelgestalt der Erde, um erst sehr spät ganz allmählich wieder Boden zu gewinnen.

Als zu den bekannten Erfahrungen, dass der Horizont stets rund erscheint, dass von einem am Horizont auftauchenden Schiffe zuerst die Masten gesehen werden, dass die Erde bei Mondfinsternissen einen runden Schatten wirft, dass in südlichen Gegenden neue Sterne sichtbar werden, noch die Thatsache hinzutrat, dass die Erde umschifft worden war (Magellan, 1519—1522), so konnte an der abgerundeten Gestalt derselben nicht mehr gezweifelt werden. Mit der Hypothese des Kopernikus beginnt dann das Zeitalter der neueren Astronomie, die zweifache Bewegung des Erdballes bildet den Ausgangspunkt.

Für die Beobachtung, die an das gebunden ist, was man mit Augen sieht, bleibt indessen die Erde noch immer eine ruhende Scheibe, der Himmel ein sich drehendes Gewölbe, jeder Fixstern ein leuchtender Punkt. An diese Vorstellung muss daher angeknüpft werden.

I. Ortsbestimmungen am Himmel.

Mit dem Himmelsgewölbe bewegen sich die Sterne um die Erde. Um nun die Stelle genau bezeichnen zu können, an welcher sich irgend ein Stern in einem bestimmten Augenblick befindet, bedarf man daher fester Punkte der Art, dass sie für den Beobachter, so lange er seinen Ort nicht wechselt, unveränderlich bleiben. Solche Punkte sind der Südpunkt und der Zenith.

Der Südpunkt liegt im Horizont senkrecht unter der jedesmaligen höchsten Stelle, welche die Sonne bei ihrer täglichen Bewegung erreicht, bestimmt zugleich den Nord-, Ost-, Westpunkt und teilt mit diesen den Horizont in vier gleiche Teile. Da eine senkrecht stehende Stange ihren kürzesten Schatten beim höchsten Stande der Sonne wirft, so erhält man den Süd- und Nordpunkt, indem man diese Schattenlinie nach beiden Seiten bis zum Horizonte verlängert denkt. Hierbei ist aber die Veränderlichkeit des Horizontes zu berücksichtigen. Aus je höherem Standpunkte beobachtet wird, um so mehr erweitert sich wegen der abgerundeten Gestalt der Erde der Horizont. Man unterscheidet daher zwischen dem scheinbaren und wahren Horizonte. Der erstere begrenzt den sichtbaren Teil der Erdoberfläche und des Himmels und senkt sich immer tiefer, je höher der Beobachtungsort steigt. Der wahre Horizont ist dagegen die Linie, in welcher eine horizontale Ebene, wie eine ruhige Wasserfläche von geringer Ausdehnung sie darstellt, bei ihrer Erweiterung mit dem Himmel zusammenstossen würde. Er ist unabhängig von der Höhe des Beobachtungsortes. Würde man beliebig viele Fernrohre senkrecht übereinander und in der Richtun

des kürzesten Schattens genau horizontal aufstellen, so träfen sie auch bei sehr grossen gegenseitigen Abständen auf den nämlichen Punkt des Himmels, und dies wäre dann eben der Südpunkt. Irgend ein Fixstern, den man in einem dieser Fernrohre erblickte, würde gleichzeitig auch in den anderen gesehen werden.

Es folgt hieraus, dass die Fixsterne überaus weit von der Erde entfernt sein müssen. Der wahre Horizont und der Südpunkt werden also von einer Veränderung des Beobachtungsortes in lotrechter Richtung nicht beeinflusst.

Der Zenith eines Ortes ist der senkrecht über dem Beobachter befindliche Punkt des Himmels. Auf der Gegenseite des Himmels entspricht ihm der Nadir. Jede durch den Zenith und den Beobachtungsort gelegte Ebene steht auf der Horizontalebene des Ortes senkrecht und schneidet den Himmel in einem grössten, mit dem (wahren) Horizonte unter rechtem Winkel zusammenstossenden Kreise. Ein solcher Kreis wird ein Höhenkreis genannt. Der nach dem Süd- und Nordpunkt gehende Kreis heisst der Mittagskreis (Meridian) für den Ort des Beobachters, die zugehörige Südlinie auf der Erde die Mittagslinie.

Der Ort eines Sternes in einem gegebenen Augenblicke ist bestimmt durch die jedesmalige Höhe des Sternes, den Höhenkreisbogen zwischen Stern und Horizont, und durch den Abstand seines Höhenkreises im Horizont vom Südpunkt, durch den Azimut, der vom Südpunkt aus nach Westen gerechnet wird. Zur Messung beider Grössen dient das Universalinstrument (der Theodolit). Bei Rechnungen benutzt man statt der Höhe eines Sternes vorwiegend dessen Zenithdistanz, den Kreisbogen zwischen Stern und Zenith. Höhe und Zenithdistanz ergänzen sich zu einem Rechten.

Verfolgt man die Wege der Fixsterne, indem man fortwährend die wechselnden Höhen und Azimute misst, und verzeichnet man die so gefundenen Oerter auf einer Himmelskugel, auf der man einen beliebigen grössten Kreis als wahren Horizont des Beobachtungsortes gezogen hat, so wird erkennbar, dass alle Fixsterne sich von Osten nach Westen in parallelen Kreisen bewegen, deren gemeinsamer Mittelpunkt ein fester Punkt des Himmels ist. Für die nördliche Halbkugel liegt dieser Punkt etwa $1\frac{1}{4}$ Grad vom Schwanzstern des kleinen Bären entfernt und heisst der Nordpol des Himmels. Dem Nordpol entspricht auf der Gegenseite des Himmels der Südpol. Die Verbindungslinie beider Pole heisst die Weltachse oder Himmelsachse. Sie geht durch den Mittelpunkt des zum Horizont gewählten grössten Kreises, überhaupt also durch die Erde hindurch. Der Himmelsäquator ist überall gleich weit von beiden Him-

melspolen entfernt und trifft für jeden Beobachtungsort den Ost- und Westpunkt. Die Bahnebenen der Fixsterne stehen senkrecht auf der Himmelsachse und sind der Ebene des Aequators parallel. Von der Bahnlinie eines Sternes heisst derjenige Teil, der sich oberhalb des Horizontes eines Ortes befindet, der Tagbogen, der andere der Nachtbogen; der Abstand des Aufgangspunktes vom Ostpunkt ist die Morgenweite, derjenige des Untergangspunktes vom Westpunkt die Abendweite. Für die Fixsterne ist die Morgenweite gleich der Abendweite; für die Sonne und die Planeten trifft dies im allgemeinen nicht zu. Fixsterne, welche nicht unter den Horizont sinken, wie z. B. für die nördlichen Gegenden der Erde die Sterne im grossen und kleinen Bär, heissen Cirkumpolarsterne.

Azimit und Höhe eines Sterns für einen gegebenen Augenblick bestimmen nur den zeitweiligen Ort und geben keinen Aufschluss darüber, wo sich der Stern zu anderer Zeit befinden werde. Man bestimmt daher die Oerter noch in einer andern Art, durch die Deklination und den Stundenwinkel.

Die Deklination eines Sterns ist sein Abstand vom Aequator; sie ergänzt sich mit dem Abstand vom Pol, der Poldistanz, zu einem Rechten, wenn man die nördliche Deklination mit dem positiven, die südliche mit dem negativen Vorzeichen versieht. Die Poldistanz eines Fixsterns bleibt für nicht zu lange Zeiträume unveränderlich. Sie ist, wie die oben erwähnte Abbildung der Sternbahnen auf einer Himmelskugel erkennen lässt, der sphärische Radius des Kreises, den der Fixstern um den Himmelspol beschreibt. Mit geeigneten Instrumenten lässt sie sich zu beliebiger Zeit bestimmen, doch eignet sich zu einer möglichst genauen Messung am besten der Augenblick des oberen Meridiandurchganges oder der Kulmination. Da ein Fixstern sich bei der Kulmination mit dem Pol und dem Zenith in dem nämlichen Höhenkreise befindet, so ist alsdann die Poldistanz gleich dem Unterschiede zwischen der Höhe des Poles und der Höhe des Sternes. Beide werden mit dem Mittagsfernrohr ermittelt, einem Fernrohr, das sich nur in der Ebene des Meridians bewegen kann, daher bei horizontaler Lage nach dem Südpunkt zeigt. Die Höhe eines Sternes bei der Kulmination kann am Fernrohr unmittelbar abgelesen werden. Zur Bestimmung der Polhöhe misst man dagegen die Höhen eines Cirkumpolarsterns bei dem oberen und dem unteren Meridiandurchgange und nimmt von diesen Höhen das Mittel.

Fixsterne, welche in gleicher Höhe kulminieren, haben gleiche Deklination und gleiche Poldistanz und befinden sich auf einem dem Aequator parallelen Kreise. Die Deklination

eines Fixsternes liefert daher für diesen einen geometrischen Ort, der sich wenigstens für kürzere Zeiträume nicht ändert. Jeder durch die beiden Pole gelegte, zugleich mit dem Himmelsgewölbe sich drehende Kreis heisst ein Deklinationskreis. Fixsterne, welche sich auf dem nämlichen Deklinationskreise befinden, gehen daher gleichzeitig durch den Meridian.

Der Stundenwinkel eines Sternes ist der Winkel, den der Deklinationskreis desselben im gegebenen Augenblick mit dem Meridian bildet. Er kann unmittelbar gemessen, oder auch mit Hülfe einer Uhr bestimmt werden.

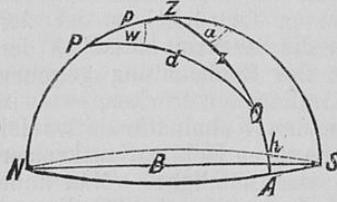
Die Zeit zwischen zwei aufeinander folgenden (oberen) Kulminationen eines jeden Fixsternes ist nämlich eine sich gleich bleibende Grösse; sie ist um etwa 4 Minuten kleiner als der bürgerliche Tag und heisst Sterntag. Der Sterntag hat 24 Stunden, den Verlauf der Sternzeit zeigt die Sternuhr an. Da nun die Drehung des Himmels oder die eines jeden Deklinationskreises mit gleichbleibender Geschwindigkeit erfolgt, ein Deklinationskreis in jeder Stunde (Sternzeit) um 15° von Osten nach Westen vorrückt, so ist der Stundenwinkel eines Sterns durch die Sternzeit zwischen der Kulmination und dem Augenblick der Beobachtung gegeben und lässt sich ebensowohl in Graden ausdrücken, wie in Zeitmass. Der Zeitraum zwischen den Kulminationen zweier Fixsterne oder der Winkel zwischen ihren Deklinationskreisen bleibt für alle Beobachtungsorte der nämliche. Man kann daher eine für jeden Beobachtungsort geltende Tabelle zusammenstellen, in welcher diese Winkel angegeben sind. Zur besseren Uebersicht hat man einen bestimmten Deklinationskreis, der durch einen noch näher zu bezeichnenden Punkt des Aequators, den Frühlings-Nachtgleichenpunkt oder Frühlingspunkt hindurch geht, als den nullten bezeichnet, und zugleich sind alle Sternuhren so reguliert, dass sie auf Null zeigen, wenn der Frühlingspunkt durch den Meridian des Ortes geht. Die Kulmination irgend eines Fixsternes erfolgt dann für alle Beobachtungsorte beim nämlichen Stande ihrer Uhren. Kulminiert nun ein Fixstern für jeden Ort z. B. um 3 Uhr (Sternzeit), so ist sein Deklinationskreis um 45° nach Osten hin vom nullten entfernt. Dieser Winkelabstand heisst die Rektascension. Da man die Deklinationen und Rektascensionen der sichtbaren Fixsterne gemessen und aufgezeichnet hat, so kann man nun mit Hülfe einer solchen Zusammenstellung und einer Sternuhr den Ort, welchen ein Stern in einem gegebenen Augenblick einnimmt, an einem jeden Beobachtungsorte sicher bestimmen. Auch die Rektascensionen sind, wie die Deklinationen, kleinen, lang-

sam eintretenden Veränderungen unterworfen. Es kann dies jedoch erst an späterer Stelle erörtert werden.

Den beiden Arten der Ortsbestimmung eines Sternes entsprechen zwei Arten von Beobachtungs-Instrumenten, Azimutal- und Zeitinstrumente. Zu den ersteren gehört der Theodolit, zu den letzteren die Armillarsphäre der früheren Astronomen und das Aequatorial. Dieses hat parallaktische Aufstellung. Es ist an einer nach dem Himmelspole gerichteten Achse derartig befestigt, dass es durch ein Uhrwerk in 24 Stunden Sternzeit um diese Achse herum bewegt wird und dabei dem Laufe eines Fixsternes, auf den es eingestellt ist, stetig folgt.

Die Koordinaten des einen Systems lassen sich aus denen des anderen durch die Formeln der sphärischen Trigonometrie ableiten. Es sei (Fig. 1) S der Südpunkt, Z der Zenith, P der Pol, O der Ort eines Sternes. Dann bestimmt der Winkel

Fig. 1



$AZS = \alpha$ das Azimut SA des Punktes O , und es ist $\mathcal{W}. OZP = 2R - \alpha$. Ferner ist $OZ = z$ die Zenithdistanz, das Komplement der Höhe $OA = h$; $SP = (R + p)$ ist die Polhöhe, $PO = d$ die Poldistanz oder das Komplement der Deklination δ , $\mathcal{W}. OPZ = w$ der Stundenwinkel. Kennt man die

Polhöhe $(R + p)$ des Beobachtungsortes, so ist das Dreieck ZPO sowohl durch α und z , wie auch durch w und d ausreichend bestimmt. Ebenso kann man aus p , d und z die übrigen Stücke finden. Ist für diesen Fall $z = R$, steht also der Stern im Horizont, so sind α und w Azimut und Stundenwinkel desselben für den Augenblick des Aufgangs oder Untergangs.

Da sich der Sterntag vom bürgerlichen Tage unterscheidet, so treten Kulmination, Aufgang und Untergang eines Fixsternes mit jedem neuen bürgerlichen Tage um etwa vier Minuten früher ein. Daher bietet der Sternenhimmel in den aufeinander folgenden Nächten einen allmählich sich ändernden Anblick. Ein Teil der früherhin sichtbaren Sterne geht endlich erst am Tage auf, während für andere das Umgekehrte eintritt.

Wie die Deklinationen und Rektascensionen, so sind auch die gegenseitigen Abstände der Fixsterne für alle Beobachtungspunkte auf der Erde die nämlichen, und überall halbiert der wahre Horizont das Himmelsgewölbe. Die Entfernung der Fixsterne von der Erde ist daher eine überaus grosse, so dass ihr gegenüber die Erde als ausdehnungsloser Punkt er-

scheint, und der Beobachtungsort von der Erdoberfläche in Gedanken nach dem Erdmittelpunkt verlegt werden kann.

II. Achsendrehung und Gestalt der Erde. Ortsbestimmungen.

Eine Achsendrehung der Erde ist wahrscheinlich schon von den alten Aegyptern angenommen worden. Unter den Griechen war es vorzugsweise Aristarch von Samos, ein Schüler Plato's, der die Bewegung des Himmels für eine Täuschung erklärte, hervorgerufen durch die Rotation der Erde, die wir nicht wahrnehmen. Den Beweis für die Richtigkeit dieser Ansicht haben in neuerer Zeit die bekannten Versuche von Benzenberg, Reich, Foucault geliefert. Die Himmelsachse ist demnach die verlängerte Erdachse, und die Himmelspole stehen senkrecht über den Erdpolen, den Endpunkten der Erdachse. Eine Unveränderlichkeit des Himmelspoles, wenn sie vorhanden wäre, fiel zusammen mit einer Unveränderlichkeit der Richtung der Erdachse, wie andererseits die oben erwähnte allmähliche Aenderung der Deklinationen auf eine sich langsam ändernde Richtung der Erdachse hindeutet.

Dass die Erde eine abgerundete, kugelähnliche Form haben müsse, wurde schon an früherer Stelle erwähnt. Als weiterer Grund, der für diese Annahme spricht, tritt jetzt noch hinzu, dass die unter einander parallelen Bahnebenen der Fixsterne mit den Horizontalebenebenen der verschiedenen Beobachtungspunkte sehr ungleiche, zwischen 0" und 90" liegende Winkel bilden. Für die Punkte des Erdäquators stehen die Sternbahnen senkrecht auf der Horizontalebene; für andere Punkte bilden sie mit dem Horizonte um so kleinere Winkel, je näher diese Punkte einem Erdpole liegen. Eine genauere Bestimmung der Gestalt der Erde kann aber nur durch sorgfältige Messungen erreicht werden, und diese bedingen wiederum die Möglichkeit einer genauen Ortsbestimmung auf der Erde, also die Ermittlung der jedesmaligen Länge und Breite.

Die geographische Breite eines Ortes ist seine Polhöhe. Für den Nordpol der Erde steht der Nordpol des Himmels im Zenith, für den Erdäquator im Horizont. Auf jedem Kreisbogen (Meridianbogen) zwischen Aequator und Pol müssen daher 89 Punkte liegen, für welche vom Aequator ab die Polhöhe um je einen Grad zunimmt. Die hindurchgehenden Parallelkreise der Erde sind dann geometrische Oerter für Punkte gleicher Polhöhe (Breite). Fernrohre, welche man sich auf ein und denselben Erdmeridian in den erwähnten 89 Punkten, ausserdem am Aequator und am Pol aufgestellt

und nach dem Himmelspol gerichtet denkt, sind parallel. Da sie vom Aequator ab um je einen Grad wachsende Winkel mit dem Horizonte bilden, so bilden sie andererseits um je einen Grad abnehmende Winkel mit dem Bleilot. Wäre nun die Erde eine vollkommene Kugel, so würden die Verlängerungen der Bleilote nach dem Mittelpunkte der Erde gehen und würden hier in ihrer Aufeinanderfolge Winkel von je 1° bilden. Diesen müssten auf der Erdoberfläche Bogen von gleicher Länge entsprechen. Dies ist aber thatsächlich nicht der Fall. Sorgfältige Messungen haben ergeben, dass die Abstände der aufeinanderfolgenden Parallelkreise nach dem Pole hin immer grösser werden. Die Erde kann daher keine gleichmässige Krümmung haben. Am Aequator muss diese stärker sein, als an den Polen; die verlängerten Bleilote müssen dort sich früher treffen, weil sie bei gleichem Richtungsunterschied den kleineren Bogen einschliessen. Die Erde muss nach den Polen hin abgeplattet sein. Denkt man sich die Punkte der Erdoberfläche, an denen sich die erwähnten Bleilote befinden, mit dem Erdmittelpunkte, wo dieser auch liegen möge, verbunden, so können die hier entstehenden Winkel, welche die wahren Breiten angeben würden, nicht einander gleich sein. Geographische Breite (Polhöhe) und wahre Breite stimmen nicht vollständig überein.

Längenbestimmungen sind Zeitbestimmungen. Die auf der Erde von Pol zu Pol in gleichen Winkelabständen gezogenen 360 Mittagshinien (Erdmeridiane) liegen in den Ebenen irgend welcher Deklinationskreise, sind also Linien des kürzesten Schattens. Die Kulminationen eines Fixsternes erfolgen für alle Punkte ein und desselben Erdmeridians gleichzeitig, während sie hingegen für den nächstfolgenden westlichen Meridian um 4 Minuten Sternzeit später eintreten. Da nun alle Sternuhren so reguliert sind, dass sie bei der Kulmination des Frühlingspunktes auf Null zeigen, so müssen die in dem nämlichen Augenblick abgelesenen Angaben zweier Sternuhren sich um $4x$ Minuten Sternzeit unterscheiden, wenn die zugehörigen Meridiane einen Winkel von x° bilden. Umgekehrt würde man für zwei Beobachtungsorte auf einen Längenunterschied von x° schliessen, wenn die hier aufgestellten Sternuhren einen Zeitunterschied von $4x$ Min. zeigten. Die erforderliche Gleichzeitigkeit des Ablesens der Zeitangaben wird bei kleineren Entfernungen mit Hilfe von Signalfeuern erreicht, bei grösseren mit Hilfe des Telegraphen, oder durch Beobachtung von Erscheinungen, die überall gleichzeitig gesehen werden, wie dies z. B. mit den Verfinsterungen der Jupiterstrabanten der Fall ist. Auf dem Meere würden diese Mittel im allgemeinen versagen. Man führt deshalb zum Zweck der Längenbestimmung eines Ortes eine Uhr mit sich, die z. B. Hamburger oder

Londoner Zeit zeigt, und vergleicht deren Angaben mit der für den betreffenden Ort geltenden Zeit. Diese ist zwar nicht unmittelbar gegeben, lässt sich aber aus einigen Höhenbeobachtungen und den zwischen ihnen liegenden Zeitintervallen berechnen. Gewöhnlich werden Sonnenhöhen gemessen, und statt der Sternzeit nimmt man dann die Sonnenzeit. Die Beziehungen zwischen beiden Zeitangaben sind bekannt, können aber erst an späterer Stelle entwickelt werden. Bei solchen Höhenmessungen vom Schiffe aus hat man zu beachten, dass sich dieselben auf den scheinbaren, nicht auf den wahren Horizont beziehen. (Fehler der Kimmung.) Wegen dieser Abweichung ist der gemessene Winkel zu gross und bedarf noch einer Berichtigung. Ist bei einer Höhenbestimmung auf dem Festlande der Horizont nicht zu sehen, so bedient man sich eines künstlichen Horizontes. Man beobachtet das Spiegelbild des Sternes, dessen Höhe gesucht wird, in einer ruhigen Wasser- oder Quecksilberfläche und misst den Winkel, den Stern und Spiegelbild mit dem Auge bilden. Er beträgt, wie leicht zu sehen, das Doppelte der gesuchten Höhe.

Die in irgend einer Art gefundenen Zeitunterschiede der einzelnen Beobachtungspunkte geben nur die Unterschiede der geographischen Längen, nicht die Längen selbst, müssen daher erst noch auf ein und denselben Meridian als Ausgangspunkt bezogen werden, ähnlich wie die Rektascensionen der Fixsterne auf den Frühlingspunkt. Der Meridian von Ferro bezeichnete in alter Zeit die Grenze der bekannten Welt, konnte deshalb als der durch die Natur gegebene nullte gelten. Wegen der Längenbestimmungen auf dem Meere ist es jedoch für seefahrende Völker bequemer, die Längen auf einen Hauptort ihres Landes, etwa auf eine Sternwarte zu beziehen. In England gilt daher der Meridian von Greenwich als der nullte ($17^{\circ} 39' 45''$ östlich von Ferro). In Deutschland rechnet man noch hier und da nach Längen östlich und westlich von Ferro, doch geht der (jetzige) nullte Meridian nicht genau über Ferro, vielmehr etwas östlich davon über das Meer.

Die Abstände zweier Meridiane, auf einem Parallelkreis gemessen, würden bei genauer Kugelgestalt der Erde nach den Polen hin proportional dem Kosinus der Breite abnehmen. In Wirklichkeit trifft dies wegen der Abplattung der Erde nicht vollständig zu. Aber auch die Abstände der aufeinanderfolgenden Meridiane auf ein und demselben Parallelkreise sind nicht überall dieselben, und ebensowenig ist daher die Krümmung der Erde in der Richtung von Westen nach Osten eine gleichmässige.

Diese besonderen Ergebnisse der Triangulationen und Gradmessungen auf der Erde werden durch das Pendel be-

stätigt, indem ein und dasselbe Pendel um so rascher schwingt, je mehr der Beobachtungsort sich vom Aequator der Erde entfernt. Aus den verschiedenen hier angedeuteten Messungen hat sich ergeben, dass die Erde, wenn man sich den Unterschied von Berg und Thal ausgeglichen denkt, weder eine Kugel, noch ein Ellipsoid ist. Die Form des Geoids, wie sie durch diese Ausgleichung entsteht, gehört überhaupt keinem der bekannten geometrischen Körper an. Die Abplattung beträgt (nach Bessel) den 299sten Teil des Erdradius, während Newton unter der Annahme, dass die Erde einst flüssig gewesen sei, aus den gleichzeitigen Wirkungen der Schwerkraft und Fliehkraft durch Rechnung die Zahl 289 ermittelt hatte. Die Länge des Meridianquadranten beträgt 10000856 m, der Umfang der Erde 5400 Meilen, die Meile zu 7420,4 m gerechnet. Der grösste Durchmesser hat eine Länge von 1719 Meilen, der kleinste eine solche von 1713 Meilen.

Die älteste Gradmessung rührt von Eratosthenes her (gest. 194 v. Chr.). Zur Zeit, wo die Sonne in Syene des Mittags im Zenith steht (in einem tiefen Brunnen sich spiegelt), hat sie in Alexandrien des Mittags eine Zenithdistanz von $7\frac{1}{2}^{\circ}$, und unter der, freilich nicht ganz zutreffenden Annahme, dass beide Städte auf demselben Meridian liegen und 5000 Stadien von einander entfernt sind, ergab sich dann ein Erdumfang von 250000 Stadien. Je nachdem man 500 oder nur 400 Stadien auf einen Grad rechnet, giebt die berechnete Zahl einen Umfang von 6250 oder von 5000 Meilen.

III. Die Sonnenbahn. Zeitbestimmungen.

Die Sonne nimmt teil an der täglichen Rotation des Fixsternhimmels, ändert aber zugleich ihren Ort zwischen den Sternen. Die Kenntnis dieser letzteren Bewegung, die mit den Veränderungen der Jahreszeiten zusammenhängt, ist uralt. Die Erscheinung, dass ein Fixstern zu Ende der Morgendämmerung aufgeht (heliacischer Aufgang), oder zu Ende der Abenddämmerung untergeht (akronyktischer Untergang), dauert immer nur wenige Tage, und es kommen dann andere Sterne an die Reihe. Sterne mit heliacischem Aufgang oder akronyktischem Untergang bezeichnen nun aber den jedesmaligen Ort der Sonne, und bei fortgesetzter Beobachtung ist zu ersehen, dass dieselbe täglich um etwa 1° hinter den Fixsternen zurückbleibt, im Zeitraum von etwa 365 Sonnentagen einen Kreis von Westen nach Osten zwischen den Fixsternen beschreibt. In genauerer Art bestimmt man ihren Weg durch Beobachtung der Meridiandurchgänge ihres Mittelpunktes. Die Verbindungslinie der

beobachteten Kulminationspunkte ist die Sonnenbahn oder die Ekliptik (ἑκλειψις, weil Sonnen- und Mondfinsternisse nur in der Ebene derselben erfolgen). Die Zeit, nach welcher die Sonne zu dem nämlichen Punkte der Ekliptik zurückkehrt, den nämlichen Ort unter den Fixsternen wieder erreicht, heisst ein siderisches Jahr und beträgt ungefähr $366\frac{1}{4}$ Sterntage. Die Sonnenbahn ist leicht aufzufinden, weil sie durch zwölf ziemlich gleich weit von einander abstehende Sternbilder, die Zeichen des Tierkreises, des Zodiakus hindurchgeht. Es sind dies Widder, Stier, Zwillinge, Krebs, Löwe, Jungfrau, Wage, Scorpion, Schütze, Steinbock, Wassermann, Fische.

Die Ekliptik bildet mit dem Himmelsäquator einen Winkel von $23\frac{1}{2}^{\circ}$ (Schiefe der Ekliptik) und durchschneidet ihn in zwei Punkten, dem Frühlings- und Herbst-Nachtglichenpunkt. Indem die Sonne sich in der Ekliptik fortbewegt, muss ihr Abstand vom Aequator, ihre Deklination, sich stetig ändern, daher auch ihre Mittagshöhe für jeden Punkt der Erde. Der Unterschied zwischen ihrer grössten und kleinsten Mittagshöhe beträgt überall $2 \cdot 23\frac{1}{2}^{\circ} = 47^{\circ}$. Bei ihrer täglichen scheinbaren Rotation um die Erde beschreibe sie daher nicht, wie jeder Fixstern, ein und denselben Kreis mit gleich bleibender Poldistanz, sondern bewegt sich in einer Spirale, in deren Windungen sie dem Aequator des Himmels zustrebt, oder sich von ihm entfernt. Die einzelnen Windungen dieser Spirale sind annähernd den Fixsternbahnen parallel, bilden daher für verschiedene Beobachtungs-orte mit dem Horizonte ungleiche Winkel, deren Grösse, wie bei den Fixsternbahnen, zwischen 0° und 90° liegt. Am 21. März und 23. September ist die Deklination der Sonne gleich Null; sie kulminiert also für die Punkte des Erdäquators im Zenith. Für die ganze Erde sind dann die Tag- und Nachtbogen der Sonne einander gleich, und für jeden Beobachtungsort ist die Höhe des Sonnenzentrums bei der Kulmination mit geringem Fehler gleich dem Komplement der geographischen Breite. Am 21. Juni (Sommersonnenwende) kulminiert die Sonne für den Wendekreis des Krebses ($23\frac{1}{2}^{\circ}$ nördl. Breite) im Zenith, am 21. December (Wintersonnenwende) ebenso für den Wendekreis des Steinbocks ($23\frac{1}{2}^{\circ}$ südl. Breite). Während der Zeit vom 21. März bis zum 23. September sind die Tagbogen für die nördliche Erdhälfte grösser, für die südliche kleiner als die Nachtbogen, und nur für den Aequator sind beide gleich; in der zweiten Jahreshälfte tritt für die beiden Halbkugeln das Entgegengesetzte ein. Ueberall ist die Morgenweite von der Abendweite etwas verschieden. Mit der Veränderung der Tagbogen und der Deklination der Sonne ist auch eine Ver-

änderung der Jahreszeiten verknüpft, und zwar für beide Erdhälften in entgegengesetztem Sinne; mit der Länge der Tagbogen nimmt die Wärme für die betreffenden Orte zu. Ausserhalb der beiden Wendekreise geht die Sonne, wenn man ihrem Tagbogen das Gesicht zuwendet, für die nördlichen Erdgegenden zur linken, für die südlichen zur rechten Seite auf; zwischen den Wendekreisen wechselt beides mit einander ab. Die Umschiffung Afrika's unter König Necho, von der Herodot erzählt, erhält daher gerade durch das, was diesem als Schiffermärchen erscheint, dass hierbei die Sonne schliesslich zur rechten Seite aufgegangen sei, ihre Beglaubigung. Steht die Sonne für den nördlichen Wendekreis im Zenith, so steht sie für den südlichen Polarkreis ($66\frac{1}{2}^\circ$ Breite), der von ersterem um 90° entfernt ist, im Horizont, und für alle noch südlicheren Punkte geht sie dann überhaupt nicht auf (lange Nacht). Bei ihrer Rückkehr zum Aequator wird sie an diesen Punkten wieder sichtbar, sobald der betreffende Breitenabstand nur noch 90° beträgt; für den Südpol tritt dies erst bei der Tag- und Nachtgleiche ein. Zur Zeit, wo die Polargegenden der südlichen Erdhälfte lange Nacht haben, sinkt die Sonne für die Polargegenden der nördlichen Erdhälfte in entsprechender Weise nicht mehr unter den Horizont (langer Tag). Für die beiden Polarkreise währen langer Tag und lange Nacht 24 Stunden, für die beiden Pole ein halbes Jahr. Von einem Pole aus betrachtet, angenommen, dass der Pol erreichbar wäre, erhebt sich die Sonne während des langen Tages in einer Spirale, anscheinend in Kreisen, welche dem Horizont parallel sind, allmählich bis zur Höhe von $23\frac{1}{2}^\circ$, sinkt in gleicher Weise wieder zum Horizonte zurück und ist während des folgenden halben Jahres unsichtbar. Je weiter sich der Beobachter vom Pole entfernt, um so grösser wird dann der Winkel, den die Spirallinien mit dem Horizonte bilden, bis er endlich am Aequator 90° beträgt. Ein Cylindermantel, auf dem eine Spirale mit etwa 365 Windungen gezeichnet ist, in dessen Achsenschnitt die Diagonalen einen Winkel von 47° bilden, und dessen Mittelpunkt die Erde vorstellt, veranschaulicht die spiralförmige Bewegung der Sonne. Jede durch den Mittelpunkt gelegte Ebene ist Horizontalbene eines Punktes der Erdoberfläche; ihr Durchschnitt mit dem Cylindermantel ist für den betreffenden Ort die Grenze zwischen Tag- und Nachtbogen der Sonne.

Die Tageslänge (der Tagbogen) für einen bestimmten Ort und eine bestimmte Zeit wird durch die früher erwähnte Dreiecks-Berechnung (S. 6) ermittelt. Hierbei ist aber die wirkliche Länge, welche durch die Erhebung der Sonne bedingt ist, von der scheinbaren, deren Dauer von der Dämmerung

beeinflusst wird, zu unterscheiden. Wegen der Strahlenbrechung in der Atmosphäre kann die Sonne noch sichtbar sein, während sie bereits unter den Horizont gesunken ist. Unter besonders günstigen Umständen wirkt sie noch erhellend, so lange sie sich nicht bis zu 18" unter dem Horizonte befindet. In den Aequatorialgegenden, wo die Sonne sich in ziemlich steiler Richtung senkt, ist daher die Dämmerung nur kurz, während es schon in der Breite von etwa 50° im Hochsommer überhaupt keine eigentliche Nacht giebt (helle Nächte). Bei den Ortsbestimmungen der Fixsterne ist in gleicher Weise die Strahlenbrechung zu berücksichtigen.

Der Zeitraum eines Umlaufs der Sonne in der Ekliptik bestimmt die Länge des Jahres. Liesse man irgend ein Jahr mit dem Augenblicke beginnen, wo die Sonne in den Aequator träte, zugleich auch in den Deklinationskreis bestimmter Fixsterne, so würde das Jahr enden müssen, wenn beides sich wiederholte. Die Wiederkehr der beiden Erscheinungen erfolgt aber nicht gleichzeitig. Während die Sonne den früheren Deklinationskreis erst nach 366,256 Sterntagen erreicht (siderisches Jahr), tritt sie schon nach 366,242 Sterntagen (tropisches Jahr) wieder in den Aequator. Im Laufe des Jahres hat die Ekliptik ihre Lage zum Aequator etwas geändert, der Frühlingspunkt, der eine der beiden Durchschnittspunkte, ist um etwa 50" nach Westen gerückt (Zurückweichen der Nachtgleichenpunkte), so dass die Sonne den Aequator schon vor Ablauf des siderischen Jahres, vor Eintritt in den früheren Deklinationskreis erreicht (Präcession der Nachtgleichen). Diese jährliche Abweichung von 50" ist zwar nur gering, muss aber allmählich zu erheblicher Grösse anwachsen, so dass der Anfang des siderischen Jahres nicht mehr auf die nämliche Jahreszeit fällt. Vor etwa 2000 Jahren erfolgte die Frühlings-Nachtgleiche beim Eintritt der Sonne in das Zeichen des Widders, gegenwärtig liegt der Frühlingspunkt im Zeichen der Fische. Die Astronomen haben jedoch die ältere Bezeichnungsweise festgehalten, so dass sie den Frühlingspunkt stets in das Zeichen des Widders fallen lassen, obgleich dies thatsächlich nicht zutrifft.

Das siderische Jahr kann hiernach nicht als Grundlage für die bürgerliche Zeitrechnung dienen. Dagegen erfüllt das tropische Jahr die Bedingung, dass sein Anfang stets auf dieselbe Jahreszeit fällt. Das bürgerliche Jahr regelt sich daher nach dem tropischen.

Für die Einteilung des Jahres in Tage ist der Sterntag trotz seiner Unveränderlichkeit nicht geeignet, weil er nicht mit den Umläufen der Sonne zusammenfällt. Wiederum sind die Sonnentage, d. h. die Zeiträume zwischen den aufeinanderfolgenden Kulminationen, unter sich verschieden und ändern

sich von Tag zu Tag. Wenn der Deklinationskreis, in welchem sich die Sonne bei einer Kulmination befand, nach Verlauf von 24 Sternstunden wieder durch den Meridian geht, so ist die Sonne um etwa 1° zurückgeblieben oder hat sich um diesen Betrag von Westen nach Osten in der Ekliptik zurückbewegt; sie tritt daher erst nach etwa 4 Minuten in den Meridian. Würde die Bewegung der Sonne in der Ekliptik zu irgend einer Zeit langsamer werden, so müsste dann auch der Zeitunterschied von 4 Minuten abnehmen. Dies ist nun thatsächlich der Fall. Während unseres Winters hat die Sonne eine grössere Geschwindigkeit, der Sonnentag eine grössere Länge als im Sommer. Die Abweichungen sind zwar nur gering von Tag zu Tag, doch steigt der Unterschied von der Wintersonnenwende bis zur Nachtgleiche auf etwa 50 Sekunden. Obgleich nun selbst dieser Zeitunterschied für das bürgerliche Leben kaum in Betracht käme, so ist doch, weil die Abweichungen sich wiederholen, eine gleichmässig gehende Uhr nicht mit dem Sonnentage oder den Angaben einer Sonnenuhr in Uebereinstimmung zu bringen. Der (wahre) Sonnentag ist daher kein brauchbares Zeitmass. Ein solches ist erst der mittlere Sonnentag, das Mittel aus den wahren Sonnentagen eines tropischen Jahres. In mittlerer Zeit beträgt die Länge des Sterntages 23 St. 56 M. 4 S., des tropischen Jahres 365 T. 5 St. 48 M. 48 S. (365, 242 Sonnentage, 366, 242 Sterntage), des siderischen Jahres 365 T. 6 St. 9 M. 10 S., (365, 256 Sonnentage, 366, 256 Sterntage). Der bürgerliche Mittag trifft mit der Kulmination der Sonne im allgemeinen nicht zusammen, und entsprechend weichen die Angaben einer Pendeluhr von denjenigen einer Sonnenuhr ab. Am 23. Dezember, 14. April, 14. Juni, 31. August ist der bürgerliche Mittag zugleich der wahre; am 11. Februar tritt der wahre Mittag um 15 Min., am 26. Juli um 6 Min. später, am 14. Mai um 4 Min., am 2. November um 16 Min. früher ein als der bürgerliche. Die Beziehung zwischen den beiden Zeitangaben wird durch die sogenannte Zeitgleichung ausgedrückt; ihre graphische Darstellung heisst die Zeitkurve.

Die für einen bestimmten Punkt geltende mittlere Zeit heisst seine Ortszeit. Da ein Längenunterschied zweier Punkte von 1° einen Unterschied von 4 Min. in den jeweiligen beiden Ortszeiten hervorruft, so berechnet man die geographische Länge auf dem Meere, wo Sonnenhöhen gemessen werden, mit Hülfe einer nach mittlerer Zeit gehenden Uhr. (Vergl. Seite 8.)

Die Verschiedenheit der Ortszeiten auf der Erde ruft mancherlei Unzuträglichkeiten hervor, z. B. beim Eisenbahnverkehr. Für begrenzte Gebiete hat man daher eine Einheits-

zeit eingeführt. In Deutschland gehen die Uhren nach mitteleuropäischer Zeit, d. h. sie sollen sämtlich auf zwölf zeigen, wenn die Sonne 15° östlich von Greenwich kulminiert. Gegen die Einführung einer überall geltenden Weltzeit ist dagegen bisher vorwiegend Widerspruch erhoben worden, die Gebiete mit Einheitszeit haben also für die übrige Erde wiederum Ortszeit. Hierdurch ist dann der Fortbestand einer eigentümlichen Einrichtung bedingt, des sogenannten Datumwechsels. Wenn an einem beliebigen Tage, z. B. am 10. November, die Sonne für den nullten Meridian gerade kulminiert, so hat der 180. Meridian Mitternacht. In der Nähe desselben auf der westlichen Seite beginnt eben der 10. November, auf der östlichen Seite hingegen endet er, und für die nächsten 24 Stunden hat man dann auf der westlichen Seite den 10., auf der östlichen den 11. November. Beim Ueberschreiten des 180. Meridians (Greenwich), der Datumlinie, wird daher von den Seeleuten ihr bisheriges Datum nicht gleichmässig fortgeführt. Beim Uebergange von Osten nach Westen rechnen sie den jedesmaligen Tag zu 48, beim Uebergange von Westen nach Osten zu 0 Stunden. Ursprünglich war der Ort des Datumwechsels die Linie, in welcher zur Zeit der Entdeckungsfahrten die nach Westen segelnden Spanier mit den nach Osten segelnden Portugiesen und Holländern zusammen trafen. Diese Linie, die noch jetzt bei der sesshaften Bevölkerung hier und da die Datungrenze bildet, beginnt bei der Beringsstrasse und führt dann entlang der asiatischen Küste und der Ostküste von Neuseeland nach dem Südpol.

Um das bürgerliche Jahr mit dem tropischen ($365,2422$ Sonnentage = 365 T. 5 St. 48 M. 48 S.) in Einklang zu bringen, rechnet man es im allgemeinen zu 365 Tagen und schaltet in jedem Jahr, dessen Zahl durch 4 teilbar ist, einen 366 sten Tag ein. Der 24. Februar ist Schalttag (Julianischer Kalender, 45 n. Chr.). Dann ist aber das Jahr um etwa 11 Minuten zu lang, und der Fehler wächst in 400 Jahren auf 3 Tage an. Der Gregorianische Kalender (1582 n. Chr.) lässt daher in jedem letzten Jahre von drei aufeinander folgenden Jahrhunderten den Schalttag weg, so dass nur das vierte ihn hat. Der erste Januar des julianischen (russischen) Kalenders ist gegenwärtig der 13. Januar des verbesserten, von 1900 an der 14. Januar.

Neben ihrer Bewegung durch den Tierkreis, die in zweifacher Art gedeutet werden könnte, hat die Sonne unzweifelhaft eine Achsendrehung. Man erkennt dieselbe am Fortschreiten der Sonnenflecke. Die Rotation erfolgt von Westen nach Osten und dauert $25,2$ Tage.

IV. Die Mondbahn.

Der Mond hat neben der täglichen scheinbaren Rotation um die Erde noch eine Bewegung von Westen nach Osten durch die Zeichen des Tierkreises hindurch. Er tritt am jedem Tage um etwa 50 Minuten später als am vorangehenden in den Meridian und kehrt nach 27 T. 7 St. 43 M. 11,5 S. (siderische Umlaufszeit) in den anfänglichen Deklinationskreis zurück. Seine Bahnlinie weicht um ungefähr 5° von der Ekliptik ab, schneidet diese in zwei gegenüberliegenden Punkten, ebenso auch den Aequator, so dass sich der Mond bald über, bald unter der Sonne befindet. Er erhält sein Licht von der Sonne, und es entstehen hierdurch die bekannten vier Phasen. Da er als dunkler Neumond zugleich mit der Sonne auf- und untergeht, so muss er alsdann zwischen Erde und Sonne stehen, während beim Vollmonde, dessen Aufgang mit dem Untergang der Sonne zusammenfällt, die Erde sich zwischen Sonne und Mond befindet. Der Mond bewegt sich also um die Erde, ist ihr Trabant. Steht er zu Anfang eines Umlaufs zugleich mit der Sonne im Deklinationskreise irgend eines Fixsternes, so hat zu Ende der siderischen Umlaufszeit, wo er wieder in diesen Kreis tritt, die Sonne sich um annähernd 29° in der Ekliptik nach Osten hin fortbewegt. Da aber der Mond sich fast $12\frac{1}{2}$ mal so schnell bewegt, so holt er die Sonne nach etwa 2 Tagen wieder ein. Nach 29 T. 12 St. 44 M. 2 S. (synodische Umlaufszeit, Monat) steht er also von neuem im Deklinationskreise der Sonne, und es wiederholen sich nun die früheren Phasen.

Da sich der Mond höchstens um 5° nach Norden und Süden von der Ekliptik entfernt, so beschreibt er während der wenigen Tage, die er in jedem einzelnen Zeichen des Tierkreises verweilt, ungefähr die nämlichen Bogen am Himmel, welche die Sonne in etwa 30 Tagen zu der Zeit beschreibt, wo sie in demselben Zeichen steht. Seine Kulminationen im Laufe eines jeden Monats zeigen eben so grosse Höhenunterschiede, wie diejenigen der Sonne im Laufe eines Jahres.

Die fortschreitende Bewegung des Mondes zwischen den Fixsternen erfolgt mit ungleichmässiger Geschwindigkeit. Sein scheinbarer Halbmesser ist veränderlich (im Mittel $15' 32,85''$), ebenso daher seine Entfernung von der Erde. Dagegen beruht es auf einer optischen Täuschung, dass der aufgehende Mond einen grösseren Durchmesser als der kulminierende, die Mondsichel einen grösseren Radius als der schwach erleuchtete übrige Teil zu haben scheint.

Während eines Umlaufs zeigt uns der Mond stets dieselbe Seite, er dreht sich also während eines Umlaufs einmal

um seine Achse. Da aber letztere Bewegung gleichmässig, erstere ungleichmässig ist, so zeigt er nicht immer genau dieselbe Hälfte, wir sehen also nach und nach mehr als die halbe Oberfläche.

Läge die Mondbahn in der Ebene der Ekliptik, so würde der Mond zweimal in jedem Monat mit Sonne und Erde in gerader Linie stehen. Die Voraussetzung trifft aber nicht zu, der eine Teil der Mondbahn zwischen den Fixsternen liegt nördlich, der andere südlich von der Ekliptik. (Aufsteigender, absteigender Knoten). Zugleich ändert sich die Lage der Knoten mit jedem Umlauf, und zwar rückläufig um etwa $1\frac{1}{2}^{\circ}$. In etwa $18\frac{1}{2}$ Jahren durchlaufen sie die ganze Ekliptik und kehren hiermit zur Anfangslage zurück. Für die aufeinanderfolgenden Neumonde haben daher Sonne und Mond nicht die früheren Höhen, und hiermit hängt zusammen, dass dann die Sichel bald mehr, bald weniger geneigt ist, selbst eine horizontale Lage haben kann. In Folge dieser fortschreitenden Verschiebung der Knoten wiederholen sich die Sonnen- und Mondfinsternisse nicht bei jedem Umlauf des Mondes, sondern erst nach 18 Jahren 11 Tagen. Erstere können nur bei Neumond, letztere nur bei Vollmond eintreten. Der Beginn einer Mondfinsterniss, der Eintritt des Mondes in den Erdschatten, ist auf der dem Monde zugewendeten Erdhälfte überall gleichzeitig sichtbar. Bei einer Sonnenfinsterniss tritt die Erde in den Schattenkegel des Mondes, und dies betrifft immer nur einen kleinen Teil der Erdoberfläche, beginnt auch für die verschiedenen Punkte zu verschiedener Zeit.

Die Phasen des Mondes sind wegen ihrer regelmässigen Wiederkehr ursprünglich wohl überall zur Zeitbestimmung benutzt worden. Da aber zwölf Monate kein volles Sonnenjahr geben, so musste man alljährlich eine gewisse Anzahl von Tagen einschalten, um die Uebereinstimmung mit dem Sonnenjahr, an welches sich die Jahreszeiten knüpfen, wieder herzustellen. Diese Einschaltung erhielt eine feste Regel, als man fand, dass 235 Monate 19 Sonnenjahre ausmachen. Ein solcher Zeitraum heisst ein Mondszirkel. Die Phasen fallen also im 20sten Jahre wieder auf dieselben Monatstage, wie im ersten, während sie in den aufeinanderfolgenden Jahren um je 11 Tage früher eintreten. Die Zeitbestimmung nach Mondesumläufen, die noch jetzt bei manchen Völkern in Gebrauch ist, hat für uns dadurch eine besondere Bedeutung, dass sie mit der Feststellung des Osterfestes zusammenhängt. Ostern wird an dem Sonntage gefeiert, der mit dem ersten Vollmonde nach Frühlingsanfang zusammenfällt, oder ihm folgt. In jedem 20sten Jahre fällt nun zwar der Vollmond wieder auf denselben Montag, aber nicht

auch das Osterfest, weil der betreffende Tag zugleich ein Sonntag sein müsste.

V. Die Planetenbahnen.

Die bekannten Planeten, deren Zahl gegenwärtig schon über 300 hinausgeht, bewegen sich sämtlich in Bahnen, die nur wenig von der Ekliptik abweichen.

Die unteren Planeten, Merkur und Venus, bewegen sich ersichtlich um die Sonne. Sie bleiben stets in der Nähe derselben, die Venus entfernt sich nur bis zu etwa 47° , und beide kann man zuweilen als dunkle Scheiben über die Sonne hinweggehen sehen. Die Zeit eines Umlaufs beträgt bei beiden weniger als ein Jahr. Die übrigen Planeten, die oberen, durchlaufen bei ihrer Bewegung allmählich sämtliche Zeichen des Tierkreises, stehen niemals zwischen Erde und Sonne und umkreisen daher Erde und Sonne zugleich, ohne dass jedoch die Beobachtung Aufschluss über das Centrum der Bewegung gäbe. Der Zeitraum bis zur Rückkehr in die nämliche Stellung am Himmel beträgt bei ihnen mindestens einige Jahre.

Die Bewegung der Planeten zwischen den Fixsternen ist eine überaus eigentümliche. Im allgemeinen erfolgt sie von Westen nach Osten. Wenn dies aber einige Zeit angedauert hat, so wird die Bewegung allmählich langsamer, hört endlich für kurze Zeit auf und geht dann nach Westen, der Planet wird rückläufig; in gleicher Art geht dann nach einiger Zeit die Bewegung wieder in die rechtläufige über. Dieser Vorgang wiederholt sich, so dass der Planet zwar im allgemeinen einen grössten Kreis am Himmel beschreibt, dabei aber in gewissen Intervallen rückkehrende Schleifen bildet. Die Bahnlinien der Planeten lassen sich daher nur durch fortgesetzte Beobachtung genau feststellen.

Im Fernrohr erscheinen die Planeten als kleine, runde Scheiben von grösserer oder geringerer Helligkeit. Merkur und Venus zeigen während einer Umdrehung um die Sonne ähnliche Phasen wie der Mond, wogegen die oberen Planeten niemals eine Sichelgestalt erkennen lassen, so dass man auf eine verhältnismässig grosse Entfernung schliessen kann. Der Merkur, der sich nicht weit von der Sonne entfernt, wird immer nur auf kurze Zeit gesehen, entweder bald nach Untergang, oder kurz vor Aufgang der Sonne, und ist wegen seines schwachen Lichtes nicht leicht mit unbewaffnetem Auge zu finden. Die Venus, der glänzendste Planet, besitzt ihre grösste Helligkeit und den grössten scheinbaren Durchmesser zur Zeit der Sichelgestalt, wo sie der Erde näher ist als bei voller Beleuchtung. Je nach ihrer Stellung zur Sonne ist sie Morgen- oder Abendstern. Der Mars hat ein

Der Winkel $x = w$ heisst die Parallaxe des Mondes (für diesen Fall).

Die Parallaxe giebt also einerseits die Winkelveränderung w an, die eintritt, wenn man den Beobachtungsort aus P nach M verlegt, und andererseits bezeichnet sie die Grösse des Winkels x , unter welchem der bestimmte Erdradius PM aus dem Mittelpunkt N des Mondes gesehen wird. Die Grösse der Parallaxe hängt daher von der Stellung des Mondes ab. Befindet sich der Mond im Zenith des Punktes P , so ist sie gleich Null. Sie hat ihren grössten Wert, wenn NP Tangente ist, der Mond also im Horizonte des Punktes P steht (Horizontal-Parallaxe). Auch diese ist übrigens wegen der Ungleichheit der Erdradien nicht überall ein und dieselbe; am Aequator ist sie grösser als an irgend einem anderen Punkte der Erdoberfläche.

Die Parallaxe liefert ein Mittel, die Entfernung des Mondmittelpunktes vom Erdmittelpunkt zu bestimmen. Sind P und O (Fig. 2) zwei Punkte auf ein und demselben Erdmeridian, steht für P der Mond im Horizont, für O im Zenith, und haben ferner beide Punkte den Breitenunterschied β , so ist $MN = MP : \sin \beta$. Der Abstand MN ist indessen, wie schon früherhin erwähnt wurde, veränderlich; sein grösster Wert beträgt 54 600, sein kleinster 49 000 Meilen. Im Mittel beträgt er 60 Erdradien (etwa 52 000 Meilen), die Horizontalparallaxe im Mittel etwa $57'$.

In ähnlicher Weise können Parallaxe und Entfernung der Sonne bestimmt werden. Da aber erstere nur 8 bis 9 Sek. beträgt, so müssen selbst kleine Beobachtungsfehler, wie sie unvermeidlich sind, stark ins Gewicht fallen. Die frühere Angabe, dass die wechselnde Entfernung der Erde von der Sonne zwischen 20 und 21 Millionen Meilen schwanke, enthielt einen möglichen Fehler von mehr als 200 000 Meilen. Genauer kann man das Verhältnis der wechselnden Entfernungen aus der scheinbaren Grösse des Sonnendurchmessers berechnen. Diese beträgt zur Zeit unseres Winters etwa $32' 38''$, im Sommer etwa $31' 34''$. Trägt man die aus den scheinbaren Durchmessern berechneten Verhältnisse der Entfernungen unter Berücksichtigung der jedesmaligen Zeit in einer Zeichnung ab, so erhält man als Bild der Sonnenbahn eine Ellipse. Man würde also die Entfernung der Sonne für einen beliebigen Augenblick genau berechnen können, wenn sie für einen bestimmten Augenblick genau bekannt wäre. Eine günstige Gelegenheit zur Lösung dieser Aufgabe bilden die Venusdurchgänge, doch kann dies für jetzt nur angedeutet werden. Die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne wird gegenwärtig zu 20 123 000, die kleinste zu 20 023 000 Meilen angegeben.

Ist für irgend einen Augenblick α der scheinbare Radius, a die Entfernung des Mondes (der Sonne) von der Erde, so erhält man für den wirklichen Radius des Mondes (der Sonne) die Gleichung $r = a \sin \alpha$. Für die Sonne ist $r = 93350$ Meilen, für den Mond $r = 234$ Meilen.

VII. Die Planetensysteme des Ptolemäus und des Kopernikus.

Aristarch von Samos (270 v. Chr.) hatte schon die Achsendrehung der Erde, selbst ihre Bewegung in der Ekliptik gelehrt. Aber Hipparch (150 v. Chr.) und Ptolemäus (150 n. Chr.), die berühmtesten Astronomen des Altertums, kehrten zu der Annahme zurück, dass die Sonne um die Erde rotiere. Nach Ansicht des Ptolemäus, die bis zu Ende des Mittelalters die herrschende geblieben ist, bewegen sich Sonne, Mond und die oberen Planeten um die Erde, während Merkur und Venus zunächst die Sonne und dann mit ihr die Erde umkreisen. Die Schleifenbildungen der Planeten wurden durch die Annahme erklärt, dass nicht die Planeten selbst einen Kreis um die Erde beschreiben, sondern dass dies der Mittelpunkt eines Kreises thue, auf dessen Umfang wiederum der Planet sich bewege. Als die Annahme einer derartigen (epicyklischen) Bewegung doch nicht zur Erklärung des Beobachteten völlig ausreichte, liess man den eben erwähnten Mittelpunkt statt eines Kreises ebenfalls einen Epicykel beschreiben, und schliesslich musste man immer neue Epicyklen zu Hülfe nehmen. Dieses System, ein Denkmal menschlichen Scharfsinns und menschlichen Irrtums zugleich, brachte zwar Beobachtung und Rechnung einigermaßen in Einklang, gab aber dem Planetensystem den Charakter einer seltsamen und überaus künstlichen Maschinerie.

Kopernikus (1473-1543), Domherr zu Frauenburg, löste in seinem erst 1543 erschienenen Werke *de revolutionibus orbium coelestium* die verworrene Frage, indem er den geocentrischen Standpunkt mit dem heliocentrischen vertauschte. Er nahm an, dass die Sonne den unbeweglichen Mittelpunkt des Systems bilde, und dass sämtliche Planeten dieses Centrum umkreisen. Unter der Voraussetzung, dass die Erde sich um die Sonne bewege, erschien dann die Schleifenbildung der Planeten als notwendige Folge der Perspektive. Die Hypothese des Kopernikus fand ebensoviel Anerkennung, wie Widerspruch. Tycho de Brahe, ein hervorragender Astronom, nahm trotz seiner Hochschätzung für Kopernikus doch Anstoss an einigen Mängeln des Sy-

stems und bildete sich deshalb ein eigenes, nach welchem die Planeten sich um die Sonne und mit dieser um die Erde bewegen sollten. In der That konnten auch damals Beobachtung und Rechnung keinen Aufschluss darüber geben, ob die Erde um die Sonne, oder die Sonne um die Erde rotiere. Einen entscheidenden Beweis für die Centralstellung der Sonne erhielt man erst in späterer Zeit, als Bradley die Aberration des Lichtes entdeckt hatte (1727), und als es gelang, bei Beobachtungen aus entgegengesetzten Punkten der Erdbahn die Parallaxen mehrerer Fixsterne zu bestimmen, zuerst diejenige des 61. Sternes im Schwan. (Bessel, 1840).

Denkt man sich im Sinne der Kopernikanischen Hypothese den Beobachtungsort von der Erde nach der Sonne verlegt, so muss man hier statt der scheinbaren Bewegungen der Planeten die wirklichen wahrnehmen. Die Erde bewegt sich dann genau in der Ebene der Ekliptik, die Bahnen der übrigen Planeten weichen mehr oder weniger von derselben ab. Die Bahn des Mondes ist epicykloidisch; während eines Monats geht er, allerdings nicht vollständig, durch ein Sternbild des Tierkreises hindurch, teils im aufsteigenden, teils im absteigenden Knoten, jedoch ohne Schleifenbildung. Die Achsenstellung der Erde ist in dem Sinne eine feste, dass während des Umlaufes der Erde um die Sonne die Achse in ihren wechselnden Lagen sich stets parallel bleibt und deshalb für einen Beobachter auf der Erde die unveränderliche Richtung nach dem Himmelpole hat. Die Veränderungen der Tages- und Jahreszeiten, wie die jedesmalige Stellung der Erde zur Sonne sie hervorbringt, müssen unter Voraussetzung des Erdumlaufes genau dieselben sein, die sich aus der entgegengesetzten Annahme ergeben haben. Die Bewegungen der Planeten erfolgen für einen Beobachter auf der Sonne von Osten nach Westen.

Die Hypothese des Kopernikus gab von vorn herein für eine Reihe von verwickelten Erscheinungen eine überaus einfache Erklärung. Sie brachte aber nicht in jeder Beziehung Rechnung und Beobachtung in Einklang. Wenn die Planeten nach der gemachten Annahme sich in Kreisen um die Sonne bewegten, so müssten sie von der Erde aus zuweilen an anderen, als den thatsächlich eingenommenen Stellen gesehen werden. Für eine gesicherte Begründung der Hypothese war also noch die Aufgabe zu lösen, die Bahnen der Planeten für den heliocentrischen Standpunkt genau zu bestimmen. Diese Aufgabe wurde von Keppler (geb. 1571) gelöst, im Jahre 1619 veröffentlichte er seine Entdeckungen.

VIII. Die Keppler'schen Gesetze.

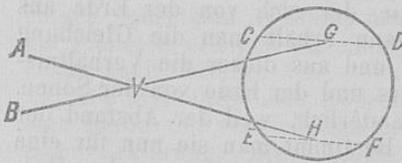
Keppler's Untersuchungen betrafen zunächst die Bahn des Mars. Er suchte möglichst viele Punkte am Himmel zu ermitteln, in welchen der Mars zu bestimmten Zeiten von der Sonne aus hätte gesehen werden müssen, um dann durch Verbindung dieser Punkte die Bahnlinie zu erhalten. Solche Punkte lieferten ihm nun die von früheren Astronomen, insbesondere von Brahe beobachteten Oppositionen des Mars. Zwei Sterne stehen in Opposition, wenn ihre Deklinationskreise einander gegenüber liegen oder einen Vollkreis bilden. Bei den Fixsternen ist daher jede Opposition eine bleibende; für die Planeten und die Sonne, die ihre Stellung zwischen den Fixsternen ändern, geht eine Opposition rasch vorüber und wiederholt sich dann nach gewissen Intervallen. Da die Bahn des Mars nur $1^{\circ} 51''$ von der Ekliptik abweicht, so steht derselbe bei der Opposition fast in gerader Linie mit der Erde und der Sonne, wird also von der Sonne aus annähernd an derselben Stelle des Himmels gesehen, an welcher man ihn von der Erde aus erblickt. Aus einer Reihe gut bestimmter Oppositionen des Mars ermittelte Keppler die Bahnlinie und Umlaufzeit zunächst nur annähernd, erreichte aber dann durch fortgesetzte langjährige Beobachtung, dass er die noch vorhandenen Fehler allmählich eliminieren und schliesslich den jedesmaligen Ort des Mars für heliocentrische Beobachtung genau finden konnte. Nun ist ferner der jedesmalige Ort der Erde für heliocentrische Beobachtung ohne weiteres gegeben. Von dem Dreieck *SME*, welches Sonne, Mars, Erde in einem beliebigen Augenblicke bilden, hat man daher den Winkel $MSE = v$, weil die Richtungen *SM* und *SE* bekannt sind, ferner den Winkel $SEM = w$, der sich von der Erde aus unmittelbar messen lässt. Dann erhält man die Gleichung $SM : SE = \sin w : \sin (v + w)$, und aus dieser die Verhältniszahl für die Abstände des Mars und der Erde von der Sonne. Diese Zahl ist allerdings veränderlich, weil der Abstand der Erde von der Sonne es ist. Bestimmt man sie nun für eine grössere Anzahl derartiger Dreiecke und giebt man dem Erdabstand jedes Mal die verhältnismässige Länge, wie sie z. B. dem veränderlichen scheinbaren Durchmesser der Sonne entspricht, so erhält man für die wechselnden Entfernungen des Mars von der Sonne eine Reihe von Verhältniszahlen, die eine geometrische Konstruktion der Marsbahn ermöglichen. Es zeigt sich alsdann, dass der Mars eine Ellipse beschreibt, die Sonne in dem einen Brennpunkt derselben steht. Für die übrigen Planeten liess sich dies späterhin in ähnlicher Art bestätigen. Die Geschwindigkeit der Bewegung erwies sich bei allen Planeten als eine nicht gleichmässige. Sie ist

am grössten in der Sonnennähe, im Perihel. am kleinsten in der Sonnenferne, im Aphel. Die Erde z. B. geht in 178 Tagen 18 Stunden (23. September bis 21. März) vom Herbst-Nachtgleichenpunkt durch das Perihel zum Frühlingspunkt und gebraucht dann für den übrigen Teil der Bahn 186 Tage 12 Stunden. Ausserdem fand Keppler auch noch eine Beziehung zwischen der Umlaufszeit und der Bahnweite. Seine Beobachtungen und Schlüsse fasste er zu den drei, nach ihm benannten Gesetzen zusammen:

- 1) Die Bahnlinien der Planeten sind Ellipsen, die Sonne steht für jeden in einem der beiden Brennpunkte.
- 2) Die Bahnstrecken, welche zu gleichen Sektoren ein und derselben Ellipse gehören, werden in gleichen Zeiten durchlaufen.
- 3) Die Quadrate der Umlaufzeiten zweier Planeten verhalten sich wie die Kuben der grossen Achsen ihrer Bahnen.

Auf Grund der vorhin angedeuteten Berechnungen vermochte Keppler die wechselnden Entfernungen der Planeten von der Sonne sehr genau in Erdradien auszudrücken. Hingegen liess sich, wie schon oben erwähnt wurde, die Entfernung der Erde von der Sonne wegen der Kleinheit der Parallaxe nur sehr annähernd bestimmen. Erst in neuerer Zeit ist man, durch Beobachtung der Venusdurchgänge (1874 und 1882), zu genaueren Resultaten gelangt. Diese Beobachtungen führen, wenn man zum Zweck der Erklärung möglichst einfache und günstige äussere Verhältnisse annimmt, in folgender Art zur Lösung der Aufgabe. Es seien A und B

Fig. 3.



die Endpunkte eines Erddurchmessers; es werde angenommen, dass man gleichzeitig die Venus V aus A in der Sehne EF , aus B in der Sehne CD über die Sonne hinweggehen sehe. Dann ist der Abstand GH beider Sehnen bestimmbar.

Ferner kennt man das Verhältnis $AV : AH = BV : BG$, oder auch $AV : VH = BV : VG$, und zwar sei beispielsweise $AV : VH = 1 : 3$. Dann ist auch $AB : GH = 1 : 3$, und ebenso verhalten sich die sehr kleinen Winkel AGB und GAH wie $1 : 3$. Da nun der Winkel GAH aus den gemachten Beobachtungen abgeleitet werden kann, so ist hierdurch auch der Winkel AGB als sein dritter Teil gegeben. Die Hälfte des Winkels AGB ist zu $8,85''$ und zu $8,87''$ bestimmt worden; unter diesem Winkel wird der Erdradius von der Sonne aus gesehen, er ist also die Sonnen-

parallaxe. Aus dieser und dem Erdradius erhält man dann den Abstand der Erde von der Sonne. In runder Zahl beträgt der grösste Abstand 20 300 000, der kleinste etwa 20 020 000, der mittlere 20 123 000 Meilen.

Die mittleren Entfernungen der auf einander folgenden Planeten von der Sonne scheinen, wenn man sie stark abrundet, und wenn man als Einheit der Entfernung eine Million Meilen nimmt, einem Gesetze zu folgen, dem sogenannten Titius-Bode'schen. Wegen der starken Abrundung der Zahlen gilt für die nachstehende Tabelle das dritte Kepler'sche Gesetz nur annähernd.

	Entfernung:	Umlaufszeit:
Merkur	$8 = 8$;	0 Jahre, 88 Tage;
Venus	$8 + 2^0 \cdot 6 = 14$;	— 225 "
Erde	$8 + 2^1 \cdot 6 = 20$;	1 Jahr;
Mars	$8 + 2^2 \cdot 6 = 32$;	1 " 322 "
Asteroiden	$8 + 2^3 \cdot 6 = 56$;	3-4 Jahre, 97-222 Tage;
Jupiter	$8 + 2^4 \cdot 6 = 104$;	11 " 315 Tage;
Saturn	$8 + 2^5 \cdot 6 = 200$;	29 " 167 "
Uranus	$8 + 2^6 \cdot 6 = 392$;	84 " 7 "

Die mittlere Entfernung des Neptun beträgt 604,7 Einheiten, entspricht also diesem Gesetze nicht; seine Umlaufszeit beträgt 164 Jahre 280 Tage.

IX. Das Gravitationsgesetz.

Aus den Kepler'schen Gesetzen ist nur der Gang der Erscheinungen zu erkennen; über eine etwa zu Grunde liegende Ursache geben sie keinen Aufschluss. Newton glaubte eine solche in der Anziehung zu finden, welche alle Körper auf einander ausüben. Den Ausgangspunkt bildete die bekannte Erscheinung, dass ein nicht unterstützter Körper zur Erde fällt. Die Frage, ob dies die Wirkung einer geheimnissvollen Anziehungskraft der Erde, der Schwerkraft sei, oder im Gegenteil die eines von aussen her kommenden Druckes, liess Newton unerörtert (*hypotheses non fingo*). Anziehung und Schwere sind daher bloss Namen für eine Ursache, deren Wesen man nicht kennt, deren Wirkungen aber klar vorliegen.

In Folge der Wirkung der Schwerkraft fällt eine in horizontaler Richtung abgeschossene Kugel in parabolischer Linie zur Erde und zwar um so später, je grösser die Anfangsgeschwindigkeit war. Bei einer gewissen Grösse derselben wird daher die Kugel, wenn vom Luftwiderstande abgesehen wird, sich in einem konzentrischen Kreise um die Erde bewegen müssen. Denkt man sich die Kugel dicht über der Erde abgeschossen, und befindet sie sich nach einer Se-

kunde noch in demselben Abstände von der als Kugel gedachten Erde, so hat sie sich in dieser Zeit um die Strecke $4,9^m = g$ gesenkt. Ist nun a die Anfangsgeschwindigkeit, d der Durchmesser der Erde, so hat man die Gleichung $a^2 = g(g + d)$, und hieraus ergibt sich dann für a eine Grösse von etwa einer Meile. Bei dieser Anfangsgeschwindigkeit würde also die Kugel die Erde umkreisen. Da nun der Mond, statt mit der ihm eigentümlichen Geschwindigkeit geradlinig im Weltraum fortzufliegen, ebenfalls die Erde umkreist, so könnte dies vielleicht in gleicher Art von deren Anziehung herrühren. Diese würde aber auf den Mond wegen seiner grösseren Entfernung nicht mit derselben Stärke wirken können, wie auf einen Körper an der Erdoberfläche, und mit Hinblick auf die bekannten Wirkungen anderer Naturkräfte dürfte man vielleicht voraussetzen, dass auch die Anziehung nach dem Quadrat der Entfernung abnehmen werde. Da nun der Mond vom Erdmittelpunkt 60 Erdradien entfernt ist, so würde die Fallstrecke für die erste Sekunde $4,9^m : 3600$ betragen müssen. Diese Schlussfolgerung kann an den Thatsachen geprüft werden. Der Mond ist etwa 51 600 Meilen vom Erdmittelpunkt entfernt und beschreibt in etwa $27\frac{1}{2}$ Tagen einen Kreis von $2 \cdot 51\,600 \pi$ Meilen; in der Sekunde legt er daher 1025^m zurück, eine Bahnstrecke, die mit verschwindend kleinem Fehler gleich der zugehörigen Tangente gesetzt werden kann. Unter der Annahme, dass der Mond in einer Sekunde sich der Erde um $(4,9^m : 3600)$ nähere, würde also die Gleichung entstehen

$$1025^2 = \frac{49}{36\,000} \left(2 \cdot 52\,460 \cdot 7500 + \frac{49}{36\,000} \right)$$

und diese ist annähernd richtig. Die zunächst in einem Falle nachgewiesene Uebereinstimmung zwischen dem Thatsächlichen und den Folgerungen aus einer Annahme liess sich nun weiterhin an der Bewegung der Planeten prüfen und zwar mit der Frage: Welche Bewegung würde ein Körper, der sich geradlinig mit gleichmässiger Geschwindigkeit fortbewegt, annehmen müssen, wenn er plötzlich von einem Centalkörper nach dem umgekehrten Verhältnis des Quadrates der Entfernung angezogen würde? Die mathematische Untersuchung gab das Resultat, dass die Bewegung in Uebereinstimmung mit den drei Kepler'schen Gesetzen erfolgen müsse. Der Beweis für das erste derselben ist auf elementarem Wege nur sehr schwer zu führen, giebt ihm aber die erweiterte Form, dass die Bahnlinie ein Kegelschnitt sei. Die Beweise für die beiden anderen Gesetze finden sich in den physikalischen Lehrbüchern.

Diese Uebereinstimmung in der Theorie und der Beobachtung hat späterhin noch in zahlreichen anderen Fällen,

selbst durch die scheinbaren Abweichungen ihre Bestätigung gefunden, so dass man wohl mit zureichendem Grunde dem Gravitationsgesetz den Character eines wahren Naturgesetzes beilegen darf. In seiner oben angegebenen Form ist es jedoch noch unvollständig, es setzt voraus, dass die Anziehung stets von ein und demselben Körper ausgehe. Da nun bei einer etwaigen Verdoppelung dieses Körpers auch seine Anziehung sich verdoppeln muss, so erhält das Gravitationsgesetz dem entsprechend die Form, dass die Anziehung einerseits der Masse, andererseits dem reciproken Quadrat der Entfernung proportioniert ist.

In dieser allgemeineren Form giebt das Gesetz nun auch eine Handhabe, um die Massen der Planeten bestimmen zu können, wenn die Masse der Erde gleich Eins gesetzt wird. Aus der bekannten Bahnlinie und Geschwindigkeit des Merkur lässt sich berechnen, wie weit er in einer Sekunde zur Sonne fällt, und aus seinem Abstände von der Sonne ergibt sich ferner, wie weit er in einer Sekunde fallen würde, wenn er sich an der Oberfläche der Sonne befände. Es wären dies etwa 130^m , und seine Entfernung vom Sonnenmittelpunkte betrüge hierbei 112 Erdradien. In dieser Entfernung vom Erdmittelpunkte würde ein Körper in einer Sekunde um $(4,9^m : 112^2)$ fallen. Die Masse der Sonne verhält sich daher zur Masse der Erde annähernd wie $130 : (4,9 : 112^2)$ oder wie $332800 : 1$, genauer wie $324000 : 1$. Für Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun ist die Massenbestimmung aus den Bewegungen ihrer Trabanten abgeleitet worden, für die übrigen vorzugsweise aus den Störungen, welche sie in ihrer Bewegung durch die Anziehung eines grösseren Planeten erfahren.

Aus den scheinbaren Durchmessern der Planeten und den Entfernungen von der Erde in einem bestimmten Augenblick erhält man die wahren Durchmesser und die Volumina, aus diesen und den Massen die Dichtigkeiten. Man hat folgende Zahlenwerte gefunden:

	Durchmesser	Volumen	Masse	Dichtigkeit
Erde	1719 M.	1	1	1
Sonne	187 600 "	1 280 000	324 000	0,25
Merkur	647 "	$\frac{1}{19}$ ($\frac{1}{17}$)	$\frac{1}{23}$	0,80 (1,17)
Venus	1 712 "	1	$\frac{4}{5}$	0,80
Mars	912 "	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{10}$	0,70
Jupiter	19 100 "	1270	310	0,34
Saturn	15 500 "	720	93	0,13
Uranus	6 800 "	60	$14\frac{1}{2}$	0,24
Neptun	7 600 (6500) "	86?	17	0,20?
Mond	468 "	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{81}$	0,60

Die Einheit der Dichtigkeit ist das spezifische Gewicht des Erdkörpers. Dasselbe beträgt 5,5.

X. Die Störungen.

Die Bahnlinien der Planeten sind nicht unveränderlich, zeigen auch zuweilen Unregelmässigkeiten, welche anscheinend dem Gravitationsgesetz widersprechen. In Wirklichkeit finden aber die sogenannten Störungen nur durch dieses Gesetz ihre Erklärung. Da nämlich sämtliche Planeten sich ebenso gegenseitig anziehen, wie sie von der Sonne angezogen werden, so müssen besonders die grösseren, wie z. B. der Jupiter, wenn sie den anderen nahe kommen, einen bemerkbaren Einfluss ausüben. Die Mathematik ist allerdings nicht im Stande, bei einem System von Körpern, die sich um einen Centralkörper bewegen, die Gesamtwirkung sämtlicher Anziehungen für einen gegebenen Augenblick voraus zu bestimmen, aber sie vermag aus beobachteten Wirkungen auf die Ursachen zurück zu schliessen. Die Störungen, welche in der Bewegung des Uranus beobachtet worden waren, führten zur Entdeckung des äussersten Planeten, des Neptun (Leverrier, Adam, 1877).

Unter den Störungen, die eine Folge der Gravitation sind, haben diejenigen eine besondere Wichtigkeit, welche die Erde betreffen.

Die Erde kann als eine Kugel betrachtet werden, der am Aequator ein Wulst aufgelagert ist. Da nun der Aequator nicht in der Ebene der Ekliptik liegt, so wirkt die Anziehung der Sonne auf die Erde nicht genau in der Art, als wenn diese eine vollkommene Kugel wäre. Die Sonne wird vielmehr den wulstförmigen Ring in die Ebene der Ekliptik zu ziehen suchen, und die Folge hiervon muss dann eine Aenderung in der Lage des Aequators, der Erdachse und des Himmelspoles sein. Diese Aenderung zeigt sich in der schon frühzeitig bemerkten Präcession der Nachtgleichen, in dem allmählichen Uebergang des Frühlingspunktes aus dem Zeichen des Widlers in das der Fische (S. 13). Zugleich mit der Lage der Nachtgleichenpunkte ändert sich auch die Schiefe der Ekliptik, sie verringert sich jährlich um $0,48''$. Wenn wir beides als Aenderungen der Ekliptik bezeichnen, so geschieht dies vom geocentrischen Standpunkte aus, wir betrachten dann den Aequator als ruhend. In Wirklichkeit ist es die Ebene des Aequators, welche sich nicht parallel bleibt. Die verlängerte Erdachse trifft daher nicht immer den nämlichen Punkt des Himmels. Ihr Endpunkt beschreibt am Himmel einen Kreis und durchläuft ihn in einem Zeitraum von 25 000 Jahren, einem platonischen Jahre. Auch diese Kreisbewegung des Himmelspoles ist nicht völlig regelmässig. Eine ähnliche Anziehung auf den äquatorialen Wulst der Erde, wie die Sonne sie ausübt, hat auch der Mond, der sich

bald der Ekliptik nähert, bald sich von ihr entfernt. Er bewirkt, dass in der rotierenden Bewegung der Erdachse sich noch eine andere, nach 18³/₅ Jahren wiederkehrende, kleine Rotation geltend macht, welche man die Nutation der Erdachse nennt. Seinerseits erhält nun auch der Mond durch die Anziehung der Sonne und der Erde eine Bewegung nach der Ebene der Ekliptik, und dies bewirkt ein Zurückweichen der Knoten (S. 17).

Mit dem Fortrücken der Nachtgleichenpunkte hängt zusammen, dass auch die Punkte der grössten Sonnennähe und grössten Sonnenferne fortrücken. Die Ekliptik bewegt sich hierbei um den einen Brennpunkt, die Sonne, wie eine excentrische Scheibe um ihre Achse. Endlich erfährt die Ekliptik noch eine Veränderung der Form, indem die Excentricität mehr und mehr abnimmt, die Ellipse sich mehr und mehr einem Kreise nähert.

Für den geocentrischen Standpunkt sind also fast alle Bestimmungsstücke der elliptischen Ekliptik veränderlich, nur die Länge der grossen Achse bleibt dieselbe.

Sämtliche hier erwähnten Veränderungen, welche nun ihrerseits die Rektascensionen und Deklinationen der Fixsterne beeinflussen, ferner ähnliche Veränderungen in den Bahnlinien der übrigen Planeten sind notwendige Wirkungen der Gravitation. Zunächst könnten sie den Eindruck hervorrufen, als ob für die Planeten der alte Name der Irrsterne noch immer seine Berechtigung hätte. Die Rechnung hat aber gezeigt, dass die Abweichungen nicht andauernd fortschreiten, sondern zwischen gewissen Grenzen eingeschlossen bleiben, dass sie daher nach bestimmten Zeiträumen zu den früheren Zuständen zurück führen.

XI. Die physische Beschaffenheit der Sonne und der Planeten.

Die Erforschung der Stoffe, aus denen die Himmelskörper bestehen, der Zustände, in denen sie sich befinden, wie auch der etwa eintretenden inneren und äusseren Veränderungen wurde erst möglich oder besonders erfolgreich, als zu der sich immer steigenden Kraft der Fernrohre neben anderen Hilfsmitteln das Spektroskop und die photographische Platte hinzutraten. Es entstand eine neue Wissenschaft, die Astrophysik. Der Umfang derselben erweitert sich mehr und mehr, doch kann hier von dem reichen Inhalte nur eine kurze Uebersicht gegeben werden.

Die Sonne erscheint dem unbewaffneten Auge, wenn ihr blendender Glanz durch dunkle Gläser gemildert wird, als eine leuchtende Scheibe von gleichmässiger Helligkeit. Durch

das Fernrohr betrachtet, zeigt sie sich dagegen von kleinen Wölkchen, Stellen geringerer Helligkeit, dicht übersät. Neben dieser stets vorhandenen Granulation bemerkt man eigentümliche, langsam entstehende und langsam vergehende Veränderungen. An den verschiedensten Stellen, vorzugsweise zwischen dem 5. und 30. Breitengrade, bilden sich von Zeit zu Zeit dunkle Flecke, und in der Nähe des Sonnenrandes entstehen Stellen höchsten Glanzes, die Fackeln. Die Sonnenflecke, zuerst von Fabricius und Scheiner (1611) beobachtet, haben sehr ungleiche, bis zu Hunderttausenden von Quadratmeilen ansteigende Grösse, sind bald vereinzelt, bald zu Gruppen vereinigt, werden häufig von hellen Linien, Brücken, durchschnitten und sind von einem helleren, breiten Rande, dem Hofe, umgeben. Die Leuchtkraft fehlt ihnen keineswegs. Dass sie fast schwarz erscheinen, ist nur Contrastwirkung, wie sich deutlich zeigt, wenn wirklich dunkle Körper einen Sonnenfleck hinweg gehen. Merkur oder Venus über einen Sonnenfleck hinweg gehen. Die Zahl der Flecke ist wechselnd. Während eines Zeitraums von etwa 11 Jahren erreicht sie einen grössten und einen kleinsten Wert, und auffälliger Weise wird diese Periode von einer ähnlichen Periode der wechselnden Häufigkeit der Nordlichter auf der Erde, nach neueren Beobachtungen vielleicht auch der Häufigkeit der Hagelschläge begleitet. Die Fackeln bilden sich ebenso wie die Flecken vorwiegend in dem Gürtel zwischen dem 5. und 30. Breitengrade, haben bald eine runde, bald eine strahlige Form und sind zuweilen die Vorläufer eines sich hernach bildenden Fleckes. Die Flecke ändern ihre Form nur langsam, lassen sich daher bis zu ihrer schliesslich erfolgenden Auflösung verfolgen. Sie zeigen eine gemeinsame Bewegung von Westen nach Osten. Für die Achsendrehung der Sonne ergibt sich hieraus eine Dauer von 25,23 Tagen.

Einen eigentümlichen Anblick gewährt der Sonnenrand bei totalen Finsternissen. Im Augenblick der vollständigen Bedeckung sieht man die Sonne einige Minuten lang von einer weiss schimmernden, sich strahlig auf mehrere Sonnendurchmesser hin ausbreitenden Lichthülle, der Korona, umgeben. Ausserdem zeigen sich am Rande der Sonne rote, flammenartige Gebilde von bedeutender Ausdehnung, Protuberanzen, die eine Höhe bis zu 10000 Meilen erreichen und sich zuweilen am oberen Ende wolkenartig ausbreiten. Ein sinnreich erdachtes Verfahren macht es gegenwärtig möglich, sie auch zu anderer Zeit, als der einer totalen Finsterniss, deutlich wahrzunehmen.

Für alle diese Erscheinungen, auch für die oft beobachteten Sonnenflecke, fehlte bis in die neuere Zeit eine aus-

reichende Erklärung. Erst die Spektralanalyse bahnte eine solche an. Aus den in verschiedener Art geführten Untersuchungen geht hervor, dass wir den eigentlichen Sonnenkörper überhaupt nicht wahrnehmen, weil eine dichte Atmosphäre ihn verhüllt. Diese wird von glühenden Gasen und Dämpfen gebildet, umschliesst einen wahrscheinlich noch flüssigen Kern, der sich in höchster Weissglut befindet, und besitzt ihrerseits eine nach oben hin allmählich abnehmende Dichte und Temperatur, so dass die oberen Schichten von den unteren erheblich verschieden sind. Zunächst über dem Sonnenkörper lagert die Photosphäre, aus der die zu uns gelangenden Licht- und Wärmestrahlen herrühren. Sie besitzt eine bedeutende Höhe und geht dann in die weniger heisse, nur wenig hohe Chromosphäre über, welche die von der Photosphäre ausgehenden Lichtstrahlen teilweise absorbiert. An die Chromosphäre schliesst sich dann die Korona, entweder als äusserster Teil der Atmosphäre, oder als ein die Sonne umgebender wolkenartiger Schwarm von kleinen Körpern.

In der Sonnenatmosphäre sind durch das Spektroskop 36 von den die Erde bildenden Elementen sicher nachgewiesen worden; bei 8 anderen ist dies noch zweifelhaft. Aus dem Auftreten einiger Spektrallinien, die keinem der irdischen Elemente angehören, glaubte man auch das Vorkommen zweier unbekanntten Stoffe, des Helium und des Koronium schliessen zu dürfen, doch ist diese Vermutung nicht einwandfrei geblieben. Die Protuberanzen bestehen vorwiegend aus Wasserstoff und können nach der Art ihres Auftretens nur als gewaltige Gasausbrüche aus dem Sonnenkörper gedeutet werden. Die Fackeln sind Anhäufungen der lichtstrahlenden Masse, Wirkungen der stürmischen, aus dem Innern kommenden Bewegungen, die einem Ausbruch voran gehen, oder ihn begleiten. Ueber die Natur der Sonnenflecke sind die Ansichten noch geteilt. Man betrachtet sie entweder als Wolken, die in den oberen Schichten der glühenden Atmosphäre entstehen und sich allmählich wieder auflösen, oder als Schlackenmassen, die sich in Folge der Abkühlung auf der flüssigen Sonnenmasse zeitweilig bilden, oder als Stellen, wo gewaltige, von oben nach unten steigende Wirbel die Atmosphäre und Sonnenoberfläche durchbrechen und Trichter bilden, die mit glühenden, aber schwächer leuchtenden Gasen erfüllt sind.

Die Wärme, welche uns die Sonne zusendet, ist so bedeutend, dass sie bei gleichmässiger Verteilung eine die ganze Erde umschliessende Eisschicht von etwa 3^{mm} Dicke binnen einer Stunde würde schmelzen können. Die sich hierbei aufdrängende Frage, ob die Sonne einer allmählichen Abkühlung

entgegen gehe, oder ob eine Quelle denkbar sei, aus welcher der Verlust an Wärme sich stets wieder ersetze, ist bis jetzt noch eine offene.

Das Spektrum der Planeten kann, da es von reflektiertem Sonnenlichte herrührt, im allgemeinen kein anderes sein, als das der Sonne selbst. Wenn indessen diejenigen dunklen Linien des Sonnenspektrums, die erst in der Erdatmosphäre entstehen, sich auch im Spektrum eines Planeten vorfinden, so ist auf das Vorhandensein einer ähnlichen Atmosphäre zu schliessen. Die grösseren Planeten sind sämtlich von Dunsthüllen umgeben. Jupiter, Saturn und Uranus scheinen neben dem reflektierten Sonnenlicht auch eigenes, schwach rotes Licht auszusenden, wie erlöschende Sonnen es zeigen würden, doch sieht man von ihnen im allgemeinen nur die dichten Nebelhüllen und in diesen, besonders beim Jupiter, streifige Wolkenbildungen.

Genauer bekannt sind die Oberflächen des Mars und des Mondes. Die Atmosphäre des Mars ist derjenigen der Erde ähnlich, ist auch, wie diese, abwechselnd klar und trübe. Bei fehlender Bewölkung unterscheidet man auf der Marsscheibe Meere und Kontinente und sieht letztere von zahlreichen, meist geradlinigen Kanälen durchzogen. Ferner bemerkt man auf der Oberfläche weisse Flecke von veränderlicher Ausdehnung, die eine Bewegung von Westen nach Osten zeigen und allmählich wieder verschwinden. Bleibend sind sie nur an den beiden Polen, nehmen aber im Sommer ab und wachsen im Winter, so dass hier ein Vergleich mit den vergletscherten Polargegenden der Erde nahe liegt. Da die Marsbahn mit der Ekliptik einen Winkel von $1^{\circ} 51'$ bildet, eine Achsendrehung des Mars etwa $24\frac{1}{2}$ Stunde, ein Umlauf um die Sonne annähernd 2 Jahre währt, so erfolgt auch der Wechsel der Tages- und Jahreszeiten auf dem Mars in ähnlicher Art wie auf der Erde.

Der Mond besitzt keine wahrnehmbare Atmosphäre, denn das Licht eines Fixsternes, der sich dem Mondrande nähert, erfährt bis zu seinem Verschwinden keine Ablenkung. Würde die Atmosphäre vollständig fehlen, so könnte es auf dem Monde auch kein flüssiges Wasser geben, kein Schall wäre wahrnehmbar, der Himmel erschiene tiefschwarz. Schon mit schwächeren Fernrohren erkennt man, besonders bei Sichelgestalt des Mondes, einzelne Berggruppen und zahlreiche Ringgebirge, eigentümliche Bildungen, die an die Kraterformen der Erde erinnern. Bei Anwendung schärferer Gläser werden auch kleine Bodenerhebungen sichtbar, und man erhält das Bild einer öden, felsigen Landschaft. Die Wärmestände sind denen der Erde nicht vergleichbar. Da keine Atmosphäre die Wärmeausstrahlung hemmt, da ferner die Tage und die

Nächte eine Länge von fast 15 Tagen haben, so müssen in regelmässiger Folge grosse Hitze und strenge Kälte rasch mit einander abwechseln.

XII. Die Kometen.

Zum Sonnensystem kann man auch diejenigen Kometen rechnen, deren Wiederkehr beobachtet worden ist, oder mit einiger Wahrscheinlichkeit erwartet wird. Die Zahl der ersteren beträgt nur 13, obgleich man bereits über 700 beobachtet hat und jetzt mit den scharfen Fernröhren der Neuzeit alljährlich einige hinzuentdeckt. Da uns die Kometen selbst bei Anwendung des Fernrohrs erst sichtbar werden, wenn sie in die Nähe der Sonne gelangen, so ist schon innerhalb des Planetenraums ihre Anzahl wahrscheinlich sehr gross; für ihr Vorkommen im Fixsternraum glaubte Keppler den Vergleich mit den Fischen im Meere wagen zu dürfen. Ursprünglich haben wohl auch die den Planetenraum durchkreuzenden Kometen dem Fixsternraum angehört, sind dann aber in den Anziehungskreis der Sonne gelangt. Hierdurch würde erklärlich, dass die Bahnen der Kometen mit der Ekliptik Winkel beliebigster Grösse bilden, dass die Bewegung bei den einen rechtläufig, bei den anderen rückläufig ist.

Die Kometenbahnen sind entweder parabolisch, so dass der Komet nach seinem Durchgange durch das Perihel nicht wieder zurückkehrt, oder elliptisch; in letzterem Falle geht die Umlaufzeit bei der grösseren Anzahl über 100 Jahre hinaus. Die parabolischen Bahnen scheinen vorzuherrschen. Jedoch kennt man von den Kometenbahnen nur den Teil, der sich in der Nähe der Sonne befindet, und bei der Kürze dieses Bogens ist nicht immer mit Sicherheit zu entscheiden, ob er einer Ellipse angehöre, oder einer Parabel. Ausserdem kann die Anziehung der Planeten erhebliche Aenderungen hervorrufen. Die Masse der Kometen ist nämlich sehr gering, die Planeten, bei welchen ein Komet vorüberging, haben hierbei keine Störung erfahren. Dagegen erhielt der Lexell'sche Komet (1770) durch die Anziehung des Jupiter zweimal eine völlig veränderte Bahnlinie. In Folge solcher Einflüsse mögen daher manche ursprünglich parabolische Bahnen späterhin zu elliptischen werden, wie andererseits einzelne neu entdeckte Kometen mit früher beobachteten identisch sein können.

Im allgemeinen unterscheidet man bei den Kometen, wenn sie sich der Sonne nähern, einen dichteren Kern, eine Nebelhülle und einen lang gezogenen Schweif, doch fehlt bei einzelnen ein deutlicher Kern. Kern und Nebelhülle bilden den Kopf. Der Schweif hat eine von der Sonne abgewendete

Richtung, folgt also nicht der Richtung der Bewegung, ist ausserdem etwas nach rückwärts gekrümmt; bei einzelnen Kometen hat man einen mehrfachen Schweif beobachtet. Die Nebelhülle und der Schweif sind bei allen Kometen so wenig dicht, dass man durch sie hindurch selbst kleinere Fixsterne erkennt. Der Rand des Schweifes leuchtet stärker, als die Mitte; es entsteht der Eindruck, als wäre der Schweif ein Hohlkegel.

Die Natur der Kometen ist bis in die neuere Zeit hinein ein Rätsel geblieben, bis endlich die Spektralanalyse und die Beobachtung einiger auffälliger Erscheinungen einen teilweisen Aufschluss gaben. Der Biela'sche Komet, dessen Umlaufszeit 6,6 Jahre betrug, spaltete sich 1846 in zwei Teile; nach wiederum 6,6 Jahren hatte sich deren Abstand stark vergrössert; 1866 wurde er nicht wieder gefunden, aber 1872, wo die Erde die Bahn des Kometen kreuzte, erfolgte ein starker Sternschnuppenfall, und die Richtung der Sternschnuppen entsprach der Bahnlinie des Kometen; 1885 wiederholte sich die Erscheinung. Die naheliegende Vermutung, dass zwischen Kometen und Sternschnuppenschwärmen eine Verwandtschaft bestehe, dass letztere als zerfallene und verstreute Kometen zu erklären sein möchten, fand dann eine weitere Bestätigung in den spektroskopischen Beobachtungen.

Die Sternschnuppen sind, ebenso wie die sogenannten Feuerkugeln, als kleine feste Körper zu deuten, die entweder vereinzelt, oder zu Schwärmen vereinigt, den Planetenraum mit planetarischer Geschwindigkeit durchziehen, für gewöhnlich aber nicht leuchten. Gelangen sie in den Anziehungskreis der Erde und in die Atmosphäre derselben, so wird ihre Bewegung durch den Luftwiderstand gehemmt, und in Folge hiervon erhitzen sich die zusammengepresste Luft und die Oberfläche des Meteoriten bis zum Erglühen. Die hierbei sich loslösenden glühenden oder verbrennenden Teilchen rufen dann die bekannte Erscheinung eines die Spur anzeigenden Lichtschweifes hervor. Scheinen diese Spuren aus ein und demselben Punkte des Himmels zu kommen, haben sie einen Radiationspunkt, so bewegen sich die Meteoriten in Wirklichkeit in parallelen Bahnen, sie gehören einem Schwarme an. Von den in die Erdatmosphäre gelangenden Meteoriten mögen vielleicht einige diese nur durchschneiden, um dann mit verringerter Geschwindigkeit weiterzuziehen, die meisten aber treten als neue Bestandteile zur Erdmasse hinzu. Dieser Zuwachs ist keineswegs verschwindend klein, denn an jedem Beobachtungsort zählt man des Nachts durchschnittlich in jeder Stunde etwa 4 Sternschnuppen, was auf eine grosse Zahl der überhaupt aufleuchtenden schliessen lässt. In auffälliger Menge erscheinen die Sternschnuppen, wenn die Erde

einem Meteoritenschwarm begegnet. Jährlich etwa am 10. August durchschneidet die Erde den Laurentiusstrom (die Perseiden), gegen den 13. November hin den grösseren Schwarm der Leoniden, dessen gedrängteren Hauptteil nach je 33 Jahren.

Kleinere Meteoriten zerfallen während des Erglühens, so weit sie nicht gasförmige Verbrennungsprodukte liefern, zu meteorischem, allmählich zur Erde sinkendem Staub. Grössere Massen, besonders die als Feuerkugeln erscheinenden, zerspringen unter starker Detonation in Stücke. Obwohl von den herabstürzenden Trümmern das Meiste im Meere oder unter der Erdoberfläche verschwindet, so hat man doch auch Bruchstücke in nicht geringer Zahl sammeln und untersuchen können. Sie bestehen sämtlich aus solchen Stoffen, welche auch der Erde eigentümlich sind, nur die Art der Verbindung zeigt einige charakteristische Unterschiede. Die Bestandteile der Meteoriten sind entweder vorwiegend metallisch, oder vorwiegend erdig, doch hat man auch flüchtige Substanzen, z. B. Kohlenwasserstoff, Kochsalz, Wasser gefunden, in einzelnen sogar grössere Mengen von eingeschlossenem Stickstoff.

Schliesst man, hiervon ausgehend, von dem Bekannten auf das Unbekannte, so wird man bei den Kometen, falls sie wirklich nur unzerstreute Meteoritenschwärme sein sollten, das Vorkommen jener flüchtigen Verbindungen erwarten dürfen. In der Nähe der Sonne werden diese aber verdampfen müssen, und dies wäre dann der Anlass zur Schweifbildung, oder auch zum Zerfall des Kometen. Diese Schlussfolgerungen sind durch die Spektralanalyse bestätigt worden, in der Nebelhülle und dem Schweife einiger Kometen hat man Kohlenwasserstoff und Natrium nachweisen können. Die von der Sonne abgewendete Richtung des Schweifes wird allerdings hierdurch nicht erklärt; sie deutet auf eine abstossende Kraft der Sonne, vielleicht auf eine elektrische Einwirkung.

Das Licht der Kometen ist im allgemeinen erborgtes Sonnenlicht. Da aber einzelne nicht nur mit reflektiertem, sondern zugleich mit eigenem Lichte leuchten, so ist schon hieraus zu schliessen, dass nicht alle Kometen ein und dieselbe Beschaffenheit haben.

Das Zusammentreffen der Erde mit einem Kometen liegt nicht ausserhalb aller Möglichkeit. Erzählungen von merkwürdigen Tagen, an denen alle Sterne vom Himmel zu fallen schienen, sind jedenfalls als Schilderungen des Zusammentreffens mit einem gedrängten Meteoritenschwarme oder einem aufgelösten Kometen zu betrachten.

XIII. Die Veränderungen am Fixsternhimmel.

Die Zahl der Fixsterne, welche man mit unbewaffnetem Auge sieht, kann auf etwa 6000 geschätzt werden; bei Anwendung immer stärkerer Fernröhre steigt sie bis ins Endlose. Eine Vereinigung der Fixsterne zu bestimmten Gruppen und grösseren Systemen findet wohl im allgemeinen nicht statt, die bekannten Sternbilder bilden wahrscheinlich nur in der menschlichen Vorstellung, nicht auch in Wirklichkeit ein zusammenhängendes Ganzes. Dagegen lösen sich viele von den Sternen, welche dem Auge als leuchtende Punkte erscheinen, bei starker Vergrößerung in Doppelsterne, auch in drei- und mehrtheilige Systeme auf. Diese Sterne sind entweder nur optisch verbunden, d. h. wir sehen sie in derselben Gesichtslinie, obwohl sie weit von einander entfernt sein mögen, oder sie bilden ein physisches System und bewegen sich, dem Gravitationsgesetz entsprechend, um ihren gemeinschaftlichen Schwerpunkt. Die hierbei eintretende Ortsveränderung ist freilich nur gering, immerhin für schärfere Fernröhre stark genug, dass selbst kleine Unregelmässigkeiten sich erkennen lassen. Wie die Störungen des Uranus zur Entdeckung des Neptun geführt haben, so ist aus den Störungen des Sirius auf einen unsichtbaren Begleiter geschlossen worden, den man dann späterhin auch gefunden hat. Aber nicht nur die Doppelsterne haben eine wirkliche Bewegung. Durch das Spektroskop ist zu erkennen, ob ein Fixstern sich dem Beobachter nähert, oder von ihm entfernt, und derartige Untersuchungen haben gezeigt, dass die Unveränderlichkeit des Fixsternhimmels nur eine scheinbare ist. Ganz allmählich, fast unmerklich ändert sich die gegenseitige Stellung der Sterne, bis endlich die Messinstrumente den entscheidenden Beweis liefern. In ferner Zeit mag daher der Himmel vielleicht einen ganz anderen Anblick gewähren, als gegenwärtig. Auch für das Sonnensystem muss eine fortschreitende Bewegung im Raume angenommen werden, deren Geschwindigkeit für die Sekunde etwa 4 Meilen beträgt. Die bekannten Abstände der Fixsterne erfahren nach einer bestimmten Richtung hin eine kleine Vergrößerung, während sie nach der entgegengesetzten Richtung hin etwas abnehmen. Es ist hieraus zu schliessen, dass sich das Sonnensystem in der Richtung nach dem Sternbilde des Herkules fortbewege.

Die Fixsterne sind sonnenähnliche, glühende Massen. Ihre Spektren zeigen indessen, wie schon die verschiedenen Farben des roten, oder bläulichen, oder weissen Fixsternlichtes andeuten, dass sie nach dem Grade des Glühens in

verschiedene Gruppen zu teilen sind. Stoffe, die nicht auch der Erde angehörten, hat man bisher in ihnen nicht entdeckt.

Die Fixsterne sind nicht gleichmässig am Himmel verteilt, es giebt sternreiche und sternarme Regionen. Am gedrängtesten stehen die Sterne in der Milchstrasse, die sich bei starker Vergrösserung in unzählige Sterne auflöst. Den nämlichen Anblick gewähren einzelne Nebelflecke, indem sie bei geringer Vergrösserung als schwach leuchtende Lichtwolken, bei stärkerer als neue Sternwelten erscheinen. Nicht alle Nebelflecke sind auflösbar. Die frühere Vermutung, dass ihre Entfernung zu gross sei, ist jetzt bei verschiedenen durch das Spektroskop dahin berichtigt worden, dass sie vorzugsweise aus glühenden Gasmassen bestehen, inmitten derer sich auch wohl dichtere Kerne befinden. Hauptbestandteile dieser glühenden Gasmassen sind Wasserstoff und Stickstoff, und dies erinnert an das erwähnte Vorkommen des Stickstoffes in einzelnen Meteoriten. Die Veränderlichkeit der äusseren Begrenzung, die spiraligen Formen mancher Nebel lassen schliessen, dass mächtige Bewegungen andauernd in ihnen stattfinden.

Eine räthelhafte Erscheinung am Fixsternhimmel ist die der aufleuchtenden Sterne. Man hat etwa 30 Fälle verzeichnet, unter welchen der Stern Tycho de Brahe's und der im Jahre 1866 aufleuchtende Stern im Bilde der Krone die bekanntesten sind. Der erstere erschien im November 1572 in der Cassiopeja, nahm an Glanz derartig zu, dass er den Abendstern überstrahlte, wurde dann allmählich lichtschwächer und war im Februar 1574 mit blossem Auge nicht mehr wahrnehmbar. In neuerer Zeit ist er als Stern 11ter Grösse wieder aufgefunden worden. Die spektroskopische Untersuchung des in der Krone aufleuchtenden Sterns, der mehrere Monate lang einen erhöhten Glanz zeigte, liess glühenden Wasserstoff erkennen, wie er in den Protuberanzen der Sonne gleichfalls auftritt. Wenn die Phantasie geneigt ist, in dem Aufflammen eines Sternes eine Weltkatastrophe, in den Veränderungen der Nebelflecke die Anfänge zur Bildung neuer Welten zu erblicken, so geht sie zwar über das durch Beobachtung Erkannnte hinaus, tritt jedoch in keinen Widerspruch zu dem, was gesicherte Thatsachen als möglich erscheinen lassen.

Von 47 Fixsternen hat man die Parallaxen, daher auch die Entfernungen bestimmen können (S. 19). Die kleinste Entfernung beträgt 3 Lichtjahre. Dürfte man annehmen, dass die Grösse der Fixsterne im allgemeinen die nämliche sei, dass uns Sterne von gleicher Farbe nur wegen ihrer ungleichen Entfernung ungleiche Lichtstärke zeigten, so würden nach Herschel's Abschätzung die Abstände der entfernteren auf Tausende von Lichtjahren steigen. Und hiermit wäre noch nicht einmal die Grenze der Milchstrasse er-

reicht, denn einzelne Teile derselben lassen sich nicht mehr in Sterne auflösen, obwohl das Spektroskop für die Möglichkeit spricht. Schon hier werden also die Entfernungen zu blossen Zahlen, mit denen wir keine Vorstellungen mehr verbinden. Noch weiter vorzudringen ist selbst die Phantasie unvermögend. Wir können uns weder von einem begrenzten, noch von einem unbegrenzten Weltall eine Vorstellung machen. Der menschliche Geist muss sich dabei bescheiden, einen verschwindend kleinen Teil im Sinne eines geordneten Ganzen aufzufassen. Aber selbst diese eng begrenzte Erkenntnis führt zu der Ueberzeugung, dass die strenge Gesetzmässigkeit, die uns im Einzelnen überall entgegen tritt, auch das Ganze durchdringe, dass sie die Harmonie der Sphären sei, welche das Altertum nur ahnte, ohne sie vernehmen zu können.

Anhang.

Die Sonnen- und Mondfinsternisse.

Eine Sonnenfinsternis tritt ein, wenn zur Zeit des Neumondes die Erde durch den Mondschatten hindurch geht. Während dieses Vorganges sieht man aus den beschatteten Punkten der Erdoberfläche die Sonne mehr oder weniger von der Mondscheibe überdeckt. Da sich der Mond schneller als die Sonne von Westen nach Osten bewegt, so schiebt er sich mit seinem Ostrande über die Sonne und verlässt sie bei der Weiferbewegung mit dem Westrande. Die Sichtbarkeit dieser Erscheinung, ebenso die Art ihres Verlaufes, ist aber davon abhängig, ob der Beobachtungsort überhaupt in den Schattenraum gelangt, und wie tief. Um die Bedingungen zu ermitteln, unter welchen eine Sonnenfinsternis für irgend einen Punkt der Erdoberfläche noch eintreten könne, geht man von dem Grenzfall aus, dass der Mond im Vorbeigehen bei der Sonne diese nur von aussen berührt, ohne sie beim Weiterziehen zu bedecken. Für den Beobachter geht alsdann die Verbindungslinie der beiden Mittelpunkte durch den Berührungspunkt und steht senkrecht auf der Bahnlinie des Mondmittelpunktes. Die Stelle des Himmels, welche der Mond (die Sonne) für einen Beobachter auf der Erde verdeckt, ändert sich aber wegen der Parallaxe mit dem Beobachtungsort. Läge dieser im Mittelpunkte der Erde, so würde

hier beim Eintreten des Grenzfalles der Abstand zwischen den Mittelpunkten der Sonne und des Mondes gleich der Summe der beiden scheinbaren Radien sein, im Mittel gleich der Summe ($16' 1,25'' + 15' 32,85''$). Verlegte man dann den Beobachtungsort nach der Erdoberfläche, so könnte die hiermit verknüpfte Verschiebung des Sonnen- und des Mondbildes nach allen Seiten hin bis zur Differenz der beiden Horizontalparallaxen, im Mittel bis zu $57' 20'' - 8,85'' = 57' 11,15''$ anwachsen. Umgekehrt könnte daher eine scheinbare Berührung der beiden Himmelskörper noch dann für bestimmte Beobachtungspunkte auf der Erdoberfläche stattfinden, wenn für einen Beobachter im Erdmittelpunkt, also nach Angabe der Mondtafeln, der Abstand zwischen den Mittelpunkten der Sonne und des Mondes $16' 1,25'' + 15' 32,85'' + 57' 11,15'' = 1^\circ 28' 45,25''$ betrüge.

Diese Bedingung für das Eintreten des Grenzfalles lässt sich nun zum gleichzeitigen Abstände der Sonne vom nächstliegenden Mondknoten in Beziehung setzen. Bezeichnet S den Mittelpunkt der Sonne, M den des Mondes, K den nächstliegenden Knoten, so ist das sphärische Dreieck SMK bestimmt durch $SM = 1^\circ 28' 45,25''$, durch $\sphericalangle SMK = 90^\circ$, und durch $\sphericalangle SKM = 5^\circ 8' 48''$, den Neigungswinkel der Mondbahn gegen die Ekliptik. Es ergibt sich hieraus für SK im Mittel die Grösse von etwa $16^\circ 42'$. Bei Benutzung der Grenzwerte für die scheinbaren Halbmesser der Sonne und des Mondes erhält man für SK annähernd einen kleinsten Wert von $15^\circ 34'$, einen grössten von $17^\circ 50'$.

Eine Sonnenfinsternis ist daher notwendig, wenn zur Zeit des Neumondes der Abstand des Sonnenmittelpunktes vom nächstliegenden Mondknoten höchstens $15^\circ 34'$ beträgt, und sie ist unmöglich, wenn dieser Abstand über $17^\circ 50'$ hinausgeht. Liegt der Abstand zwischen den Grenzwerten, so ist das Eintreten oder Nichteintreten der Bedeckung von der jedesmaligen scheinbaren Grösse der beiden Halbmesser abhängig, die Rechnung ist für den besonderen Fall zu führen.

Der Kernschatten des Mondes hat, wie sich aus einer leicht anzustellenden Rechnung ergibt, im Mittel eine Länge von etwa 50 000 Meilen. Da nun der Abstand des Mondes von der Erde zwischen den Grenzwerten 54 600 Meilen und 49 000 Meilen ab- und zunimmt, so sind beim Durchgange der Erde durch den Mondschatten zwei Fälle möglich, dass der Kernschatten die Erde erreicht, oder dass sie ausserhalb desselben bleibt. Im ersteren Falle liegt dann in irgend einem Augenblick des Durchganges eine begrenzte Stelle der Erdoberfläche im Kernschatten, ein diese Stelle umgebender Ring im Halbschatten. Die erstere Region erfährt eine

totale Sonnenfinsternis, die letztere eine partielle, bei welcher die Sonnen- und die Mondscheibe eine grössere oder kleinere Fläche, im Grenzfall nur einen Berührungspunkt gemeinsam haben. Indem der auf der Erde entstehende Schattenfleck mit dem schwächer beschatteten Ringe dem nach Osten hin fortrückenden Kernschatten nachfolgt, so bildet er einen Streifen, die Totalitätszone, der nach allen Seiten hin von einer Region des Halbschattens umgeben ist. Für jeden Punkt der Totalitätszone wird die Sonne während längerer oder kürzerer Zeit vollständig überdeckt; am Rande der Zone ist die totale Verfinsternung nur vorübergehend, in der Mitte der Zone kann sie bis 8 Minuten andauern. Diejenigen Punkte der Erdoberfläche, die von der Achse des Kernschattens getroffen werden, haben eine centrale Sonnenfinsternis, der Mittelpunkt des Mondes geht über den der Sonne hinweg, und die Dauer der totalen Verfinsternung erreicht in diesem Falle ihren grössten Wert.

Geht die Erde nur durch den Halbschatten des Mondes hindurch, so kann für keinen ihrer Punkte die Sonne vollständig bedeckt werden. Tritt aber hierbei ein Teil der Erdoberfläche in den Scheitelkegel des Kernschattens, so hat dieser Theil eine ringförmige Sonnenfinsternis. Aus jedem Punkte desselben sieht man den Mond vorübergehend als einen dunklen Kreis vor der Sonne, so dass deren leuchtender Rand ihn überragt, entweder concentrisch, wenn der Beobachtungsort in der Achse des Scheitelkegels liegt, sonst excentrisch.

Der Grenzfall zwischen einer totalen und einer ringförmigen Sonnenfinsternis entsteht, wenn die Spitze des Kernschattens gerade bis zur Erdoberfläche reicht. Der betreffende Punkt hat dann vorübergehend eine centrale Sonnenfinsternis, und bei derselben sind die scheinbaren Durchmesser der Sonne und des Mondes einander gleich.

Mondfinsternisse können nur zur Zeit des Vollmondes stattfinden und auch dann nur in dem Falle, dass der Mond in den Kernschatten der Erde tritt. Ein Hindurchgehen des Mondes durch den Halbschatten muss zwar eine Verminderung der Helligkeit bewirken, doch zeigt sich dies nur darin, dass der Anfang einer wirklichen Verfinsternung nicht in aller Schärfe zu bestimmen ist. Da bei einer Mondfinsternis der Mond thatsächlich verdunkelt wird, so sieht man auf der dem Monde zugewendeten Erdhälfte die Erscheinung überall mit gleichem Verlauf und zu gleicher Zeit. Die Zeitbestimmungen in Ortszeit unterscheiden sich dann natürlich je nach der geographischen Länge der Beobachtungspunkte. Der Kernschatten der Erde hat im Mittel eine Länge von etwa 183900 Meilen und in 54000 Meilen Entfer-

nung von der Erdoberfläche, einer Entfernung, welche dem grössten Mondabstande ungefähr gleich kommt, einen Durchmesser von über 1200 Meilen, während der Durchmesser des Mondes nur 468 Meilen beträgt. Eine Mondfinsternis kann daher niemals ringförmig sein, nur total oder partiell. Die Bedingungen für das Eintreten einer Mondfinsternis werden in ähnlicher Art ermittelt, wie die für das Eintreten einer Sonnenfinsternis. Die äussere Berührung des Kernschattens durch den Mond bezeichnet die Grenze der partiellen Verfinsterungen. Beim Eintritt dieses Grenzfalls steht die aus dem Mondmittelpunkt M nach dem Berührungspunkt gezogene und bis zu einem Punkte S in der Achse des Schattenskegels verlängerte Verbindungslinie senkrecht auf der Bahnlinie des Mondmittelpunktes. In 54000 Meilen Entfernung von der Erdoberfläche hat diese Verbindungslinie eine Länge von etwa $(1200 + 468) : 2$ Meilen und wird von der Erde aus unter einem Sehwinkel von annähernd $57' 30''$ gesehen. Das sphärische Dreieck MSK , welches die Punkte M und S mit dem nächstliegenden Knotenpunkt K bilden, ist alsdann bestimmt durch $MS = 57' 30''$, durch $\sphericalangle SMK = 90^\circ$, und durch $\sphericalangle MKS = 5^\circ 8' 48''$, und hieraus ergibt sich nun die Grösse der Seite SK . Sie ändert sich mit der Entfernung des Mondes von der Erde, liegt aber zwischen den Grenzen $13,33^\circ$ und $7,75^\circ$. Da für die Sonnenfinsternisse die entsprechenden Grenzwerte grösser sind, so müssen jene häufiger eintreten, als Mondfinsternisse.

Eine Mondfinsternis ist also notwendig, wenn zur Zeit des Vollmondes der Gegenpunkt der Sonne auf der Ekliptik vom nächsten Mondknoten um höchstens $7,75^\circ$ absteht, und sie ist unmöglich, wenn dieser Abstand mindestens $13,33^\circ$ beträgt. Während einer totalen Mondfinsternis legt der Mittelpunkt des Mondes einen Weg von etwa $(57' 30'') \cdot 2$, von etwa 2° zurück. Die Zeitdauer beträgt daher annähernd den 180sten Teil eines synodischen Monats, im Mittel 4 Stunden, im günstigsten Fall 4 Stunden 38 Minuten.

Sonnen- und Mondfinsternisse wiederholen sich nach gewissen Zeitintervallen, und bei diesen lassen sich kürzere und längere Perioden erkennen. Geht man von dem Fall aus, dass die Mittelpunkte der Sonne und des Mondes gleichzeitig zu einem Mondknoten gelangen, so folgt, dass nach einem synodischen Monat eine neue Sonnenfinsternis unmöglich ist. Der Sonnenmittelpunkt hat sich während dieser Zeit um $29,1068^\circ$ rechtläufig, der Mondknoten um $1,5636^\circ$ rückläufig in der Ekliptik fortbewegt; beide Punkte sind um $30,6704^\circ$ von einander entfernt, während der Grenzfall für das Eintreten einer Verfinsterung beim Abstände von $17^\circ 50'$ stattfindet. Nach 6 Monaten hingegen beträgt der Abstand

zwischen dem Sonnenmittelpunkt und dem Mondknoten etwa 184° , daher zwischen dem Sonnenmittelpunkt und dem anderen Mondknoten annähernd 4° , und nach 12 Monaten beträgt er etwa 368° , thatsächlich also etwa 8° . In beiden Fällen erfolgen daher wiederum Verfinsterungen, doch sind diese der Grösse nach von der ersten verschieden, werden auch nicht für die nämlichen Teile der Erdoberfläche sichtbar. Ähnliches gilt für die Wiederholung der Mondfinsternisse. Wäre die erste Sonnenfinsternis, von der ausgegangen wurde, keine totale gewesen, so würden auch die erwähnten Wiederholungen nicht unbedingt notwendig, sie würden nur möglich sein. Daher hat die Periode von 12 synodischen Monaten oder von 354,3 Tagen, nach welcher sich die Finsternisse mit veränderter Grösse wiederholen, nur eine beschränkte Bedeutung.

Zur Ermittlung einer zutreffenden Periode werde nun angenommen, dass die anfängliche Stellung der Sonne und des Mondes, bei welcher ihre Mittelpunkte mit einem Mondknoten zusammenfielen, sich nach x synodischen Monaten genau wiederhole. Die vom Sonnenmittelpunkte und dem Mondknoten zurückgelegten Wege betragen dann zusammen $30,6704^\circ \cdot x$, und da nun nach der Annahme Sonnenmittelpunkt und Mondknoten jetzt wieder zusammenfallen, so muss $30,6704^\circ \cdot x$ ein Einfaches oder Vielfaches von 360° , muss also gleich $360^\circ \cdot y$ sein. Demnach ist $y : x = 30,6704 : 360$. Die Näherungswerte dieses Verhältnisses sind:

$$\frac{1}{11}, \frac{1}{12}, \frac{3}{35}, \frac{4}{47}, \frac{19}{223}, \frac{61}{716} \text{ u. s. w.}$$

Das Verhältnis $19 : 223$ giebt fast genau zutreffende Resultate. Nach 223 synodischen Monaten (Halley'sche Periode, Saros der Chaldäer) oder nach 18 Jahren 10,5 Tagen (11,5 Tagen bei anderer Lage der Schaltjahre) kehren die Verfinsterungen in fast genau derselben Grösse wieder, indessen nicht zugleich für die nämlichen Beobachtungsorte. Es sind dies im Ganzen 41 Sonnen- und 29 Mondfinsternisse. Da aber das Verhältnis $19 : 223$ nicht völlig genau ist, so ändert sich nach öfterer Wiederholung der Periode allmählich die Grösse der Verfinsterungen, und endlich treten nach wiederum 223 Mondumläufen nicht sämtliche Verfinsterungen von neuem ein. Die Periode von 716 Umläufen behält ihre Bedeutung für einen weit grösseren Zeitraum.



Das Verhältniss 19 : 223 giebt fast genau zutreffende Resultate. Nach 223 synodischen Monaten (Halley'sche Periode, Saros der Chaldäer) oder nach 18 Jahren 10,5 Tagen (11,5 Tagen bei anderer Lage der Schaltjahre) kehren die Verfinsterungen in fast genau derselben Grösse wieder, indessen nicht zugleich für die nämlichen Beobachtungsorte. Es sind dies im Ganzen 41 Sonnen- und 29 Mondfinsternisse. Da aber das Verhältniss 19 : 223 nicht völlig genau ist, so ändert sich nach öfterer Wiederholung der Periode allmählich die Grösse der Verfinsterungen, und endlich treten nach wiederum 223 Mondumläufen nicht sämtliche Verfinsterungen von neuem ein. Die Periode von 716 Umläufen behält ihre Bedeutung für einen weit grösseren Zeitraum.

zwischen
184°, d
Mondk
etwa 3
folgen
Grösse
für die
liches
die ers
totale g
nicht u
Daher
von 35
änderte

Da
Resulta
Periode
Tagen
die Ver
indesse
Es sind
Da abe
ändert
die Gr
wiederu
von ne
Bedeut

© The Tiffen Company, 2007

TIFFEN® Gray Scale

A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
		R	G	G	B		M	W	G	K	C	Y	M						

Mondknoten etwa
und dem anderen
Monaten beträgt er
beiden Fällen er
sind diese der
werden auch nicht
sichtbar. Aehn-
sternisse. Wäre
gen wurde, keine
Wiederholungen
nur möglich sein.
en Monaten oder
sternisse mit ver-
ränkte Bedeutung
periode werde nun
g der Sonne und
mit einem Mond-
odischen Monaten
unkte und dem
dann zusammen
me Sonnenmittel-
enfallen, so muss
von 360°, muss
= 30,6704 : 360.
nd:

u. s. w.
genau zutreffende
n (Halley'sche
18 Jahren 10,5
haltjahre) kehren
Grösse wieder,
Beobachtungsorte.
Mondfinsternisse.
g genau ist, so
periode allmählich
lich treten nach
e Verfinsternungen
äufen behält ihre
m.