Lehrbuch der Erdkunde für höhere Lehranstalten

Klein, Hermann J.

Braunschweig, 1886

Vierte Abteilung. Astronomische Erdkunde

Vierte Abteilung.

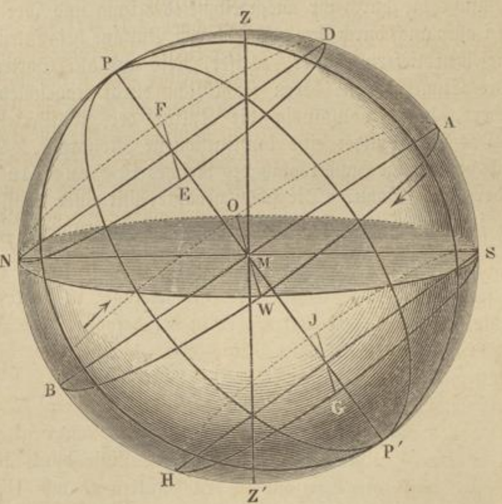
Astronomische Erdkunde.

§. 99.

Die scheinbare tägliche Bewegung des Himmelsgewölbes.

Bezeichnet M den allseitig freien Standpunkt eines Beobachters, so erscheint demselben der sichtbare Teil der Erdoberfläche als kreisförmige Fläche $ONWS$, in deren Mittelpunkt er sich befindet. Diese Fläche wird Ebene des Horizontes

Fig. 128.



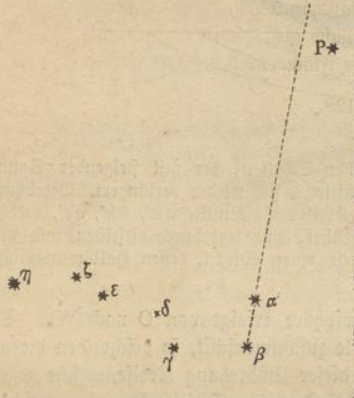
genannt. Sie teilt das kugelförmige Himmelsgewölbe in zwei gleiche Teile, eine obere, sichtbare, und eine untere, unsichtbare Hemisphäre. Zieht man durch den Standpunkt des Beobachters die Linie ZMZ' senkrecht zur Ebene des Horizontes, so schneidet dieselbe die Himmelskugel in den beiden Punkten Z und Z'.

Der erste heißt Zenith (Scheitelpunkt) des Beobachters M, der andere Nadir (Fußpunkt) desselben.

Bei Nacht erscheint die Himmelskugel mit zahlreichen Sternen besäet. Dieselben zeigen eine gemeinsame Bewegung, gleich als wenn sie an der Himmelssphäre befestigt wären und mit dieser eine gleichförmige Umdrehung um eine feste Achse vollführten. Die Bewegung wird die tägliche Umdrehung des Himmelsgewölbes genannt und die Achse, um welche sie stattzufinden scheint, führt den Namen Weltachse. Letztere trifft die Himmelssphäre in den Punkten P und P', welche Himmelspole heißen. Der bei uns sichtbare heißt Nordpol, der unter dem Horizonte liegende Südpol. Nahe beim Nordpole des Himmels befindet sich (zufällig) ein ziemlich heller Stern, der deshalb Polarstern genannt wird. Er scheint (für das bloße Auge) bei der täglichen Umdrehung in Ruhe zu verharren, während alle übrigen Sterne Kreise um ihn beschreiben.

Es ist nicht schwer, den Polarstern am Himmel aufzufinden, wenn man dabei von dem allbekannten Sternbilde des großen Bären (oder Wagen) ausgeht (Fig. 129). Zieht man nämlich von dem Sterne β über α eine gerade Linie, so wird dieselbe fünf- bis sechsmal verlängert nahezu auf den Polarstern treffen.

Fig. 129.



Der größte Kreis der Himmelssphäre, welcher gleichweit von den beiden Polen entfernt ist, wird Himmelsäquator genannt. Ist in Fig. 128 PMP' die Weltachse, so bezeichnet $AWBO$ den Himmelsäquator. Der Bogen NP (oder Winkel NMP), um welchen der Pol P sich über den Horizont von M erhebt, heißt die Polhöhe von M. In ähnlicher Weise ist Bogen AS (oder Winkel AMS) die Äquatorhöhe von M. Polhöhe und Äquatorhöhe eines Ortes ergänzen sich gegenseitig zu 90°.

Legt man durch den Pol P und das Zenith Z eine Ebene senkrecht zur Ebene des Horizontes, so schneidet diese Ebene die Himmelskugel in dem größten Kreise $PZSZ'N$, die Ebene des Horizontes aber in der geraden Linie NMS. Jener größte Kreis heißt Meridian oder Mittagskreis, diese Gerade aber Mittagslinie von M.

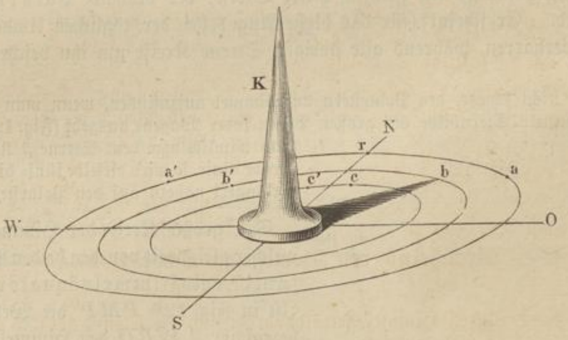
Der Meridian schneidet den Horizont in den Punkten N und S. Der erstere, welcher den Nordpol P des Himmels am nächsten liegt, heißt Nordpunkt, der andere S heißt Südpunkt. Eine Linie durch M senkrecht zur Mittagslinie NS trifft den Horizont in den Punkten O und W, welche Ost- und Westpunkte genannt werden. Wendet sich der Beobachter mit dem Gesichte gegen N, so liegt der Ostpunkt rechts, der Westpunkt links.

Die Punkte $NSOW$ sind die vier Kardinalpunkte des Horizontes, die vier Hauptweltgegenden. Jeder dieser Punkte steht von dem nächsten um einen Bogen von 90° ab.

Durch Halbierung dieses Bogens erhält man die ersten Nebenweltgegenden: *NO*, *NW*, *SO*, *SW*. Ein ferneres Halbieren jedes der so entstandenen acht Bogen von je 45° liefert die zweiten Nebenweltgegenden: *NNO*, *NNW*, *ONO*, *OSO*, *SSO*, *SSW*, *WSW*, *WNW*. Im allgemeinen unterscheidet man 32 selbständige Weltgegenden. Ein einfaches Mittel, die Lage der einzelnen Weltgegenden näherungsweise aufzufinden, bietet der Kompaß. Die Magnetnadel desselben zeigt jedoch keineswegs genau nach dem Nordpunkte, sondern weicht (bei uns etwas nach W) von demselben ab. Eine genauere Methode, um die Richtung *N* — *S*, also die Lage des Meridians, am Beobachtungspunkte zu bestimmen, ist folgende.

Auf einer horizontalen Ebene ziehe man eine Anzahl konzentrischer Kreise (Fig. 130) und errichte im Mittelpunkte derselben einen senkrechten Stab oder spitzen Kegel *K*.

Fig. 130.



Von der Sonne beschienen wirft derselbe einen Schatten, der mit steigender Sonne kleiner wird, mit sinkender Sonne, also nachmittags, sich wieder verlängert. Bezeichnet man nun auf der Peripherie jedes einzelnen Kreises die Punkte aa', bb', cc', welche die Schattenspitze vor- und nachmittags berührt, und legt durch dieselben und den Mittelpunkt gerade Linien, so umschließen diese einen Winkel, dessen Halbierungslinie *NS* die Richtung des Meridians bezeichnet.

Die tägliche Bewegung der Himmelssphäre erfolgt von O nach W. Da bei uns der Pol *P* nicht mit dem Horizonte zusammenfällt, so beschreiben die an der Himmelskugel befindlichen Sterne bei dieser Umdrehung Kreise, welche gegen den Horizont geneigt sind. Sie steigen dabei an der Ostseite herauf, erreichen ihre größte Höhe im Meridian und sinken an der Westseite wieder herab. Der Augenblick, in welchem ein Stern den Meridian erreicht, bezeichnet seine Kulmination. Man unterscheidet obere und untere Kulmination. Indem jeder Stern bei seiner täglichen Umdrehung zweimal die Ebene des Meridians passiert, erreicht er bei der oberen Kulmination seine größte Höhe über dem Horizonte, bei der unteren seine geringste.

Bei der täglichen Bewegung bleiben nur diejenigen Sterne stets über dem Horizonte, deren Winkelabstand vom Pole *P* kleiner ist als der Bogen *NP* oder die Polhöhe. Man nennt diese Sterne Zirkumpolarsterne. Bei ihnen ist sowohl die obere als die untere Kulmination sichtbar. Alle Sterne, deren Abstand von *P* größer ist als die Polhöhe *NP*, steigen bei der täglichen Umdrehung über den Horizont (Aufgang) und sinken später unter denselben herab (Untergang). Der über dem letzteren liegende Teil der Bahn eines solchen Sternes heißt dessen Tagbogen, der unter demselben befindliche sein Nachtbogen. Für Sterne, die im Himmelsäquator stehen, ist Tag- und Nachtbogen gleich, sie bleiben also ebensolange über als unter dem Horizonte. Bei allen Sternen, welche einen Nachtbogen beschreiben, ist nur die obere Kulmination sichtbar.

Die alten Schriftsteller bezeichnen mehrere Arten von Auf- und Untergängen der Gestirne, die aber wesentlich etwas Anderes bedeuten als das vorstehend Auseinandergesetzte. Sie unterscheiden:

1. Den heliakischen Aufgang oder das erste Hervortreten eines Gestirnes aus den Sonnenstrahlen. Das Verschwinden in den Sonnenstrahlen wird als heliakischer Untergang bezeichnet.

2. Den kosmischen Aufgang oder den Zeitpunkt, in welchem der Stern gleichzeitig mit der Sonne aufgeht. Der kosmische Untergang bezeichnet die Zeit, wenn der Stern zugleich mit der Sonne untergeht.

3. Den akronyktischen Aufgang und Untergang. Derselbe findet für einen Stern statt, der auf- oder untergeht während gleichzeitig die Sonne untergeht.

§. 100.

Die scheinbaren Bewegungen der Sonne.

Mit dem ganzen Himmelsgewölbe dreht sich die Sonne täglich einmal um die Erde. Wenn man aber ihren Ort am Himmel genauer bemerkt, so findet man leicht, daß dieser sich verändert. Am 21. März geht die Sonne morgens genau im Ostpunkte auf und abends im Westpunkte unter; sie bleibt an diesem Tage 12 Stunden über und 12 Stunden unter dem Horizonte, ihr Tag- und ihr Nachtbogen sind einander gleich. Nach dem Vorhergehenden gilt dies aber nur für diejenigen Gestirne, welche im Himmelsäquator stehen; folglich steht die Sonne am 21. März im Äquator. Der genaue Zeitpunkt, wann dies stattfindet, wird Frühlings-Nachtgleiche (Frühlings-Äquinoktium), und der Punkt des Himmels, in welchem sich die Sonne in diesem Augenblicke befindet, wird Frühlingspunkt genannt. Beobachtet man die Sonne einige Wochen später, so findet man, daß sie nicht mehr genau im O auf- und im W untergeht, sondern daß die Punkte des Horizonts, in welchen sie aufgeht und untergeht, merklich nach N gerückt sind. Gleichzeitig erkennt man, daß die Sonne auch immer höher über den Horizont hinaufsteigt, daß sie bei der oberen Kulmination eine immer größere Höhe im Meridian erreicht und daß ihre Tagbogen immer größer, ihre Nachtbogen immer kleiner werden. Dadurch werden natürlich vom 21. März ab die Tage immer länger, die Nächte immer kürzer. Dies dauert bis zum 21. Juni; an diesem Tage sind die Auf- und Untergangspunkte der Sonne am meisten dem Nordpunkte des Horizontes genähert und die Sonne erreicht bei ihrer oberen Kulmination ihre größte Höhe über dem Horizonte. Sie hat jetzt den Punkt ihrer Sommerwende (Sommer-Solstitialpunkt) erreicht. In diesem Punkte ist sie am weitesten nördlich vom Äquator entfernt und wir haben den längsten Tag und die kürzeste Nacht. In den darauf folgenden Wochen rücken die Punkte des Horizontes, in welchen die Sonne auf- und untergeht, mehr und mehr nach S, sie selbst erreicht bei der oberen Kulmination täglich eine etwas geringere Höhe über dem Horizonte, die Tage kürzen fortwährend und die Nächte werden länger. Am 23. September geht die Sonne wieder genau im O auf und im W unter, ihr Tagbogen ist ihrem Nachtbogen gleich, sie steht wiederum im Äquator. Wir haben jetzt Herbst-Nachtgleiche (Herbstäquinoktium), und der Punkt am Himmel, woselbst sich die Sonne in diesem Augenblicke befindet, wird Herbstpunkt genannt. In den folgenden Wochen rücken Auf- und Untergangspunkt der Sonne mehr und mehr nach S, ihre Höhe bei der oberen Kulmination wird immer geringer, der Tagbogen immer kürzer und die Dauer der Nächte nimmt zu. Dies dauert bis zum 22. Dezember, an welchem Tage sie ihre geringste Höhe bei der Kulmination erreicht, am weitesten südlich vom Äquator steht und bei uns den kürzesten Tag sowie die längste Nacht macht. Die Sonne hat nun den Punkt ihrer Winterwende (Winter-Solstitialpunkt) erreicht und wendet sich von jetzt ab wieder dem Äquator zu, um am 21. März abermals in demselben zu stehen. Außer dieser auf- und absteigenden Bewegung zu beiden Seiten des Äquators besitzt die Sonne auch eine fortschreitende unter den Sternen. Am einfachsten erkennt man dies daran, daß in den gleichen Abendstunden im Laufe des Jahres nach und nach stets andere Sterne sichtbar werden und früher gesehene allmählich in den Strahlen der Sonne verschwinden.

Neben der täglichen hat also die Sonne auch eine jährliche Bewegung und zwar beschreibt sie bei dieser, von W nach O fortschreitend, einen größten Kreis der Himmelskugel, dessen Ebene offenbar um soviel gegen die Ebene des Himmelsäquators geneigt ist, als der Bogen beträgt, um welchen jeder der beiden Solstitialpunkte vom nächsten Punkte des Himmelsäquators entfernt ist. Die jährliche Sonnenbahn wird Ekliptik und der Winkel, den ihre Ebene mit der Ebene des Himmelsäquators macht, Schiefe der Ekliptik genannt. Dieselbe beträgt $23^0\ 28'$. In der Figur 131 ist PP' die Weltachse, $ACBD$ der Äquator, $HCFD$ die Ekliptik, D ist der Frühlings-, C der Herbstpunkt, F der Punkt der Sommerwende, H der Punkt der Winterwende. Legt man durch die beiden Himmelspole und die Punkte C und D einen größten Kreis, so wird derselbe Äquinoktialkolur genannt. Ebenso heißt der durch die Pole und die Punkte F und H gelegte größte Kreis Solstitialkolur.

Die Sonnenbahn oder Ekliptik führt am Himmel durch 12 Sternbilder, welche meistens die Namen von Tieren tragen. Man nennt daher den Gürtel dieser Sternbilder, den die Ekliptik durchzieht, den Tierkreis (Zodiakus). Mit Rücksicht auf diese Sternbilder hat man die Ekliptik in 12 gleiche Teile geteilt. Dieselben heißen Zeichen der Ekliptik und führen die Namen der benachbarten Sternbilder des Tierkreises. Vom Frühlingspunkte gegen O gezählt sind folgendes diese Zeichen und ihr Symbole:

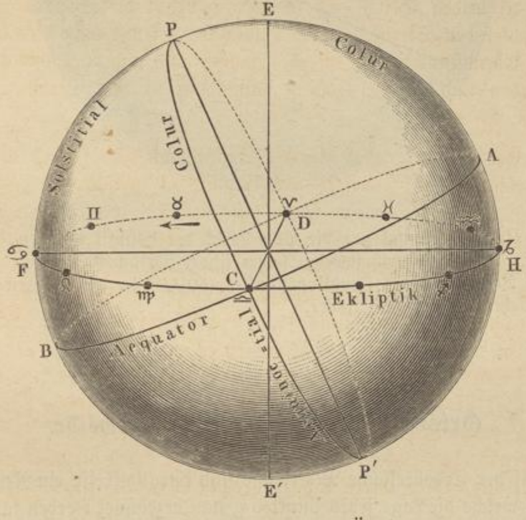
♈ ♉ ♊ ♋ ♌ ♍ ♎
Widder, Stier, Zwillinge, Krebs, Löwe, Jungfrau, Wage,

♏ ♐ ♑ ♒ ♓
Skorpion, Schütze, Steinbock, Wassermann, Fische.

Da die Jahreszeiten von dem Orte abhängen, an welchem sich die Sonne in der Ekliptik befindet, so pflegt man diesen kalendarisch durch das betreffende Zeichen des Tierkreises auszudrücken. So beginnt für uns der Frühling, wenn die Sonne in das Zeichen des Widders tritt, der Sommer bei ihrem Eintritt in das Zeichen des Krebses, der Herbst mit dem Eintritt in das Zeichen der Wage, der Winter beim Eintritt in das Zeichen des Steinbocks.

Die Einteilung der Ekliptik in 12 Zeichen gehört bereits dem grauen Altertume an. Sie ist zu einer Zeit entstanden, in welcher der Durchschnittspunkt der Ekliptik mit dem Äquator, also der Frühlingspunkt, im Sternbilde des Widders lag. Dieser Punkt besitzt jedoch am Himmel keine unveränderliche Lage, sondern rückt jährlich um einen sehr geringen Betrag ($50^1/_3''$) gegen W. Infolge dieser Bewegung, welche

Fig. 131.

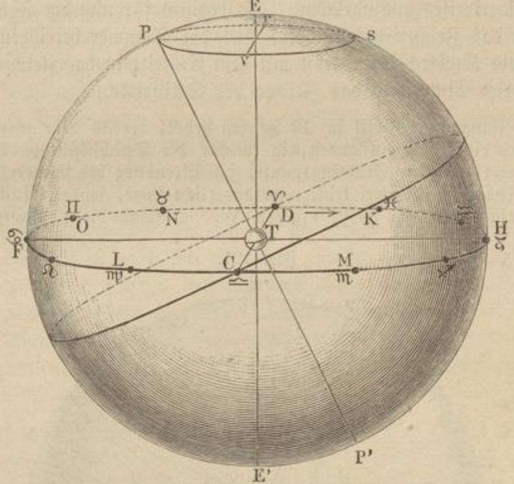


Vorrücken der Nachtgleichen (Präzession der Äquinoktien) genannt wird, hat der Frühlingspunkt das Sternbild des Widders längst verlassen und befindet sich gegenwärtig im Sternbilde der Fische. Da nun vom Frühlingspunkte an die Zeichen des Tierkreises gezählt werden, so werden diese gleichsam mit fortgezogen und müssen mit der Zeit auf immer andere Sternbilder fallen, bis der ganze Umlauf vollendet ist. Man hat daher zwischen den Zeichen und den Sternbildern des Tierkreises zu unterscheiden.

Das Vorrücken der Nachtgleichen zieht eine entsprechende Veränderung in der Lage der Himmelspole nach sich. Bezeichnet (Fig. 132, a. f. S.) T die Erde, PP' die Weltachse und FH die Ekliptik, so muß, wenn der Himmelsäquator seine Lage auf der Ekliptik so ändert, daß der Durchschnittspunkt CD sich gegen LK hin dreht, auch die Weltachse

PP' eine Drehung erleiden. In derselben Zeitdauer, in welcher die Punkte C und D einmal vollständig die Ekliptik durchlaufen, muß der nördliche Himmelspol den kleinen Kreis $Prsv$ beschreiben. Der Mittelpunkt dieses Kreises liegt in der geraden Linie, welche die Punkte EE' verbindet, die den Namen Pole der Ekliptik führen. Der nördliche Himmelspol bleibt also nicht immer bei dem Polarsterne, so wenig wie er vor Jahrtausenden in dessen Nähe lag. Man nennt den Zeitraum, innerhalb dessen

Fig. 132.



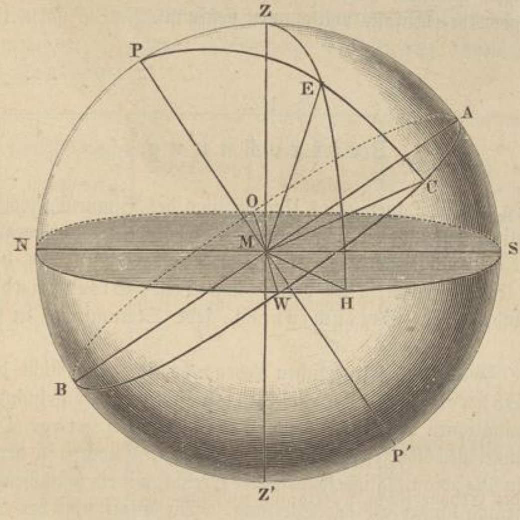
die Weltpole PP' sich einmal um die Pole EE' der Ekliptik bewegen, das Platonische Jahr. Seine näherungsweise Dauer findet sich durch Division des Betrages der jährlichen Verrückung des Frühlingspunktes ($50^1/_3''$) in den ganzen Kreisumfang und umfaßt daher etwa 25 000 Jahre.

§. 101.

Ortsbestimmung am Himmelsgewölbe.

Wie auf der Erdoberfläche Meridiane und Parallelkreise ein Netz von Linien bilden, durch welche die Lage jedes Punktes genau bezeichnet werden kann, so besitzt man für das Himmelsgewölbe mehrere Systeme von Linien, welche dort demselben Zwecke dienen. Das einfachste und nächstliegendste ist dasjenige, welches sich auf den Horizont des Beobachters bezieht. Es sei, Fig. 133, M der Standpunkt des Beobachters, so ist $OWNS$ der Horizont, Z das Zenith, Z' der Nadir desselben, während PP' die Weltachse vorstellen soll. Legt man durch MZ und irgend einen Punkt E eine Ebene, so schneidet diese das Himmelsgewölbe in einen senkrecht zum Horizonte stehenden größten Kreise ZEH. Ein solcher Kreis wird Höhenkreis genannt und der Bogen EH heißt die Höhe, der Bogen ZE dagegen die Zenithdistanz des Punktes E. Höhe und Zenithdistanz eines Punktes ergänzen sich gegenseitig zu 90°. Der Bogen SH vom Südpunkte des Horizontes bis zu demjenigen Punkte, in welchem der Höhenkreis von E den Horizont schneidet, wird Azimuth genannt. Man zählt dasselbe vom Südpunkte ostwärts und westwärts bis 180°. Durch Höhe und Azimuth würde der Ort eines Punktes am Himmelsgewölbe vollkommen bestimmt sein, wenn dieses keine Umdrehungsbewegung besäße. Allein da infolge der täglichen Bewegung die Lage aller Punkte der Himmelskugel gegen den Horizont sich fortwährend ändert, so muß zu Höhe und Azimuth auch noch der Zeitpunkt gegeben werden, für welchen sie gelten. Ein anderes, bequemeres System der Ortsbestimmung an der Himmelskugel bildet dasjenige des Äquators. Bezeichnet wieder in Fig. 133 M den Standpunkt des Beobachters und PP' die Weltachse, so ist $AOBW$ der Himmelsäquator. Legt man durch MP und irgend einen Punkt E eine Ebene, so schneidet diese das Himmesgewölbe in einen senkrecht zum Äquator stehenden größten Kreise PEC. Ein solcher Kreis wird Deklinationskreis (oder

Fig. 133.



Stundenkreis) genannt und der Bogen EC heißt die Deklination, der Bogen PE dagegen die Poldistanz des Punktes E. Liegt der Punkt E nördlich vom Himmelsäquator, so ist seine Deklination nördlich (+), andernfalls südlich (—). Der Bogen AC zwischen dem Deklinations- oder Stundenkreise und dem Meridian PZA heißt der Stundenwinkel von E. Derselbe ändert sich natürlich mit der täglichen Umdrehung des Himmelsgewölbes fortwährend. Um daher den Ort von E unabhängig von der Zeit zu bestimmen, bezeichnet man den Abstand seines Deklinationskreises von einem konventionellen Punkte des Himmelsäquators und hat als solchen den Frühlingspunkt gewählt. Der gegen O gezählte Bogen des

Äquators zwischen dem Frühlingspunkte und dem Durchschnitte C des Stundenkreises wird Gerade Aufsteigung (Rektaszension) von E genannt.

Man drückt die Rektaszension gewöhnlich nicht in Bogen, sondern in Zeitmaß aus. Da nämlich jeder Stern mit gleichförmiger Bewegung in 24 Stunden einen vollständigen Kreis von 360° beschreibt, so durchläuft er in einer Stunde einen Bogen von 15°, in einer Minute einen Bogen von 15′ u. s. w. und jede Zeiteinheit entspricht also einer bestimmten Winkelgröße.

Durch Rektaszension und Deklination ist der Ort eines Punktes am Himmelsgewölbe vollkommen bestimmt. Man bedient sich dieses Systems fast ausschließlich, um nach demselben die Sterne in Karten niederzulegen.

Ein drittes System der Ortsbestimmung an der Himmelskugel bildet dasjenige der Ekliptik. Wird durch die Pole der Ekliptik und irgend einen Punkt E der Himmelssphäre ein größter Kreis gelegt, so heißt der Bogen zwischen der Ekliptik und jenem Punkte die Breite des letzteren, die also nördlich und südlich sein kann. Ebenso heißt der Bogen der Ekliptik vom Frühlingspunkte ostwärts bis zum Durchschnitte des durch E gehenden Breitenkreises mit der Ekliptik die Länge dieses Punktes. Durch Länge und Breite ist der Ort eines Punktes am Himmelsgewölbe ebenfalls vollkommen bestimmt.

§. 102.

Zeitrechnung.

1. Tag. Die Dauer eines Umschwungs des Himmelsgewölbes, wie sie durch zweimaliges aufeinander folgendes Zurückkehren eines unbeweglichen Sterns (Fixsterns) zu dem nämlichen Teile des Meridians bezeichnet wird, heißt Sterntag. Man teilt denselben in 24 gleich lange Teile, Sternstunden genannt, jede Sternstunde in 60 Sternminuten, jede Sternminute in 60 Sternsekunden.

Für die Zwecke des bürgerlichen Lebens benutzt man nicht die Sternzeit, sondern die Sonnenzeit. Der Zeitraum zwischen zwei aufeinander folgenden gleichen Kulminationen der Sonne heißt wahrer Sonnentag. Da die Sonne nicht am Himmelsgewölbe feststeht, sondern sich von W nach O in der Ekliptik bewegt, also den Meridian täglich etwas später erreicht, wie ein feststehender Stern, so ist der Sonnentag länger als der Sterntag. Die Bewegung der Sonne in der Ekliptik ist ferner nicht das ganze Jahr hindurch gleichförmig, sondern im Winter etwas rascher als im Sommer. Die Sonne braucht daher bald etwas mehr, bald etwas weniger Zeit von einer Kulmination bis zur anderen. Diese wahre Sonnenzeit hat also Tage von ungleicher Länge und eignet sich deshalb unmittelbar nicht für die Zeitrechnung. Zu diesem letzteren Zwecke denkt man sich vielmehr eine Sonne s', welche sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit in der Ekliptik bewegt und dabei gleichzeitig mit der wahren s durch die beiden Punkte geht, in welchen diese ihre größte und kleinste Geschwindigkeit hat. Außerdem denkt man sich noch eine Sonne s'', welche mit der Sonne s' gleichzeitig vom Frühlingspunkte ausgeht und sich mit stets gleicher Geschwindigkeit im Himmelsäquator (nicht in der Ekliptik) fortbewegt. Der Zeitraum zwischen je zwei gleichen Meridiandurchgängen dieser gedachten Sonne s'' ist daher stets von gleicher Dauer. Er wird mittlerer Sonnentag genannt.

Steht die so gedachte Sonne gleichzeitig mit einem Fixsterne im Meridiane, so hat am nächsten Tage, wenn dieser Stern wiederum den Meridian erreicht, also nach Ablauf eines Sterntages, die gedachte Sonne wegen ihrer eigenen Bewegung noch einen Bogen des Äquators von 0·986° zu durchlaufen, um ebenfalls einen ganzen Umlauf zu vollenden. Der mittlere Sonnentag ist also länger als der Sterntag. Legt man die Dauer des mittleren Sonnentags mit 24 Stunden zu Grunde, so ergibt sich die Länge x des Sterntags in mittlerer Sonnenzeit ausgedrückt durch die Proportion:

$$x : 24 = 360^0 : 360{\cdot}986^0,$$

also x = 23 Stunden 55 Minuten 4 Sekunden. Umgekehrt ist die Länge des mittleren Sonnentags in Sternzeit ausgedrückt = 24 Stunden 4 Minuten 56 Sekunden.

Der Unterschied zwischen wahrer und mittlerer Sonnenzeit wird Zeitgleichung genannt. Folgende Tafel zeigt den Betrag derselben von 8 zu 8 Tagen des Jahres an.

Monatstag	Zeitgleichung Minuten	Monatstag	Zeitgleichung Minuten	Monatstag	Zeitgleichung Minuten
1. Januar	+ 3,7	9. Mai	— 3,8	14. September	— 4,4
9. "	+ 7,3	17. "	— 3,9	22. "	— 7,2
17. "	+ 10,3	25. "	— 3,4	30. "	— 9,9
25. "	+ 12,6	2. Juni	— 2,5	8. Oktober	— 12,3
2. Februar	+ 14,0	10. "	— 1,0	16. "	— 14,3
10. "	+ 14,5	18. "	+ 0,7	24. "	— 15,7
18. "	+ 14,2	26. "	+ 2,4	1. November	— 16,3
26. "	+ 13,2	4. Juli	+ 4,0	9. "	— 16,1
6. März	+ 11,6	12. "	+ 5,2	17. "	— 15,0
14. "	+ 9,5	20. "	+ 6,0	25. "	— 13,0
22. "	+ 7,2	28. "	+ 6,2	3. Dezember	— 10,2
30. "	+ 4,7	5. August	+ 5,8	11. "	— 6,7
7. April	+ 2,3	13. "	+ 4,7	19. "	— 2,8
15. "	+ 0,1	21. "	+ 3,1	27. "	+ 1,2
23. "	— 1,7	28. "	+ 1,2		
1. Mai	— 3,0	6. Sept.	— 1,6		

Das Zeichen + bedeutet, daß die mittlere Zeit der wahren voraus ist, das Zeichen —, daß sie ihr um die daneben stehende Zahl von Minuten folgt.

Ein Mittel, die wahre Zeit im Augenblicke der Kulmination der Sonne, also den wahren Mittag, zu bestimmen, bietet der Gnomon. Derselbe besteht in seiner einfachsten Gestalt aus einer senkrechten Säule, die auf einer ebenen Fläche in der Meridianlinie des Beobachtungsortes errichtet wird. Sobald der Schatten dieser Säule im Meridian liegt, findet offenbar die Kulmination der Sonne und also der Augenblick des wahren Mittags statt. Der Gnomon dient auch dazu, die Höhe der Sonne über dem Horizonte zu bestimmen. Die Länge der Säule, dividiert durch die Länge des Schattens, gibt nämlich die trigonometrische Tangente des Höhenwinkels der Sonne.

Um die wahre Zeit nicht nur im Augenblicke der Sonnenkulmination, sondern auch in anderen Augenblicken des Tages zu finden, dient die Sonnenuhr. Die einfachste Konstruktion derselben ist diejenige der Äquatorealuhr, bei welcher ein schattenwerfender Stift der Erdachse, die Fläche aber, auf welche der Schatten fällt, dem Äquator parallel ist. Teilt man vom Mittelpunkte aus durch Radien diese Ebene in so viele Winkel, als man Unterabteilungen zur Erkennung der Zeit bedarf, und läßt die der Stunde 12 entsprechende Linie in die Ebene des Meridians fallen, so ist die Uhr rektifiziert. Je nach der Stellung der schattenfangenden Fläche unterscheidet man vertikale (Fig. 134) und horizontale (Fig. 135) Sonnenuhren. Die Lage der Stunden-

Fig. 134.

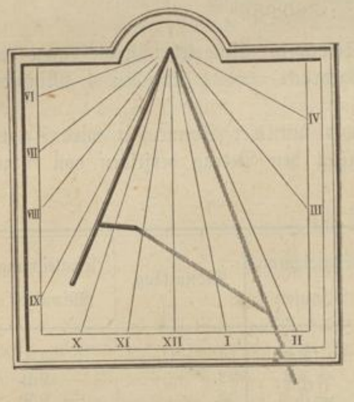
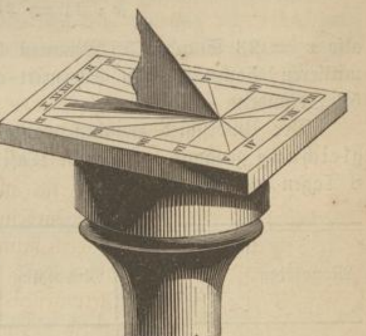


Fig. 135.



striche ergibt sich hierbei durch Projektion derjenigen der Äquatorialuhr auf die betreffende Ebene oder durch Beobachtung mit Hilfe der anderweitig bekannten Zeit.

2. Jahr. Die Dauer eines Umlaufs der Sonne durch die Ekliptik zum nämlichen unbeweglichen Punkte des Himmels heißt Sternjahr (siderisches Jahr). Dasselbe umfaßt 365 Tage 6 Stunden 9 Minuten 11 Sekunden und seine Dauer ist unveränderlich. Für die Zwecke des bürgerlichen Lebens benutzt man nicht das Sternjahr, sondern das tropische Jahr. Dasselbe umfaßt die Zeit zwischen zwei aufeinander folgenden Zurückkünften der Sonne zum Frühlingspunkte. Da dieser nicht am Himmel feststeht, sondern sich um einen geringen Betrag von O nach W, also der Sonne entgegen, bewegt, so ist das tropische Jahr kürzer als das siderische. Seine Dauer beträgt gegenwärtig 365 Tage 5 Stunden 48 Minuten 47 Sekunden.

Weil die Sonne nach je 12 Mondwechseln ziemlich zu derselben Stellung am Himmel zurückkehrt, so gab dies bei einigen (älteren) Völkern Veranlassung, diese Zeitdauer rund für ein Jahr zu nehmen. Dasselbe führt den Namen Mondjahr und seine Dauer ist 354 Tage 8 Stunden 48 Minuten 35 Sekunden.

3. **Kalender.** Da die astronomische Jahresdauer nicht mit einem vollen Tage abschließt, sondern noch Bruchteile eines solchen umfaßt, so entsteht für die **praktische Jahresrechnung**, deren Hauptzweck sein muß, die einzelnen Stellungen der Sonne stets auf dieselben Tage zu fixieren und die astronomischen Jahreszeiten immer in denselben Monaten zu erhalten, die Anforderung, Einrichtungen zu treffen, welche solches ermöglichen. Dies geschieht durch die Bestimmungen des Kalenders. Die Alten haben die genaue Jahresdauer nicht gekannt sondern nahmen lange eine runde Zahl von Tagen dafür an. Nach dem Vorgange der Ägypter stellte erst Julius Cäsar genauere und allgemein gültige Bestimmungen auf, welche die Grundlage des **Julianischen Kalenders** bilden. In demselben ist die Jahresdauer zu $365^1/_4$ Tagen angenommen, und nach je 3 Jahren von 365 Tagen folgt ein Schaltjahr von 366 Tagen, um die Vierteltage, welche natürlich einzeln nicht berücksichtigt werden können, nachzuholen. Außerdem muß der Tag, an welchem im Frühlinge die Sonne im Himmelsäquator steht, der 21. März sein. Vier Julianische Jahre haben also zusammen 1461 Tage und sind deshalb 45 Minuten länger als vier tropische Jahre. Der Unterschied beträgt nach je 128 Jahren bereits einen ganzen Tag, und man war im Laufe der Jahrhunderte gezwungen, Tage in der Zählung ausfallen zu lassen, um die Übereinstimmung mit dem Himmel notdürftig zu erhalten.

Um diesen Übelständen ein für allemal abzuhelfen, ließ Papst Gregor XIII. eine neue Kalendereinrichtung ausarbeiten. Dieselbe führt den Namen **Gregorianischer Kalender** und ist noch heute im Gebrauche. Es ist dabei die Schaltmethode Cäsars zum Grunde gelegt, allein nach je 4 Jahrhunderten fällt ein Schalttag aus. Nach der getroffenen Anordnung sind alle vollen Jahrhunderte, deren beide ersten Ziffern durch 4 ohne Rest teilbar sind, **Schaltjahre**, die übrigen **Gemeinjahre**. Auch diese Schaltmethode entspricht nicht genau der Länge des tropischen Jahres, doch wird der Fehler erst in Jahrtausenden einigermaßen merklich und kann dann leicht durch weitere Ausschaltung eines Tages verbessert werden.

In Europa haben nur Rußland und Griechenland den Julianischen Kalender beibehalten. Infolgedessen ist dort die Zeitrechnung (**nach altem Stil**) gegenwärtig 12 Tage hinter der unserigen zurück.

Der Kalender weist eine Anzahl von Bestimmungen auf, die besonders für die Festrechnung von Wichtigkeit sind. Zunächst werden die einzelnen Tage des Jahres, mit dem 1. Januar beginnend, durch die Buchstaben A bis G bezeichnet, so daß der 8., 15. u. s. w. wieder denselben Buchstaben A erhalten. Derjenige Buchstabe, welcher in einem bestimmten Jahre mit dem Sonntage zusammenfällt, heißt **Sonntagsbuchstabe** dieses Jahres. Da jedes gemeine Jahr mit demselben Wochentage endigt, mit dem es beginnt, so geht der Sonntagsbuchstabe alljährlich um eine Stelle zurück, in dem Jahre jedoch, welches einem Schaltjahre folgt, um zwei Stellen. Im Julianischen Kalender kehren die Sonntagsbuchstaben nach je 28 Jahren in derselben Ordnung wieder zurück und diese Zeitdauer wird **Sonnenzirkel** genannt. Nach je 19 Jahren fallen die Neumonde nahe wieder auf dieselben Monatstage und diese Periode heißt **Mondzirkel**. In dem Jahre, welches der Geburt Christi vorausging, fiel der Neumond auf den 1. Januar (nach unserer Bezeichnung) und man hat auf dieses Jahr den Anfang der Mondzirkelperioden verlegt. Diejenige Zahl, welche angibt, das wievielte Jahr irgend ein gegebenes in der zuletzt begonnenen Mondzirkelperiode ist, heißt **goldene**

Zahl. Diejenige Zahl, welche angibt, wie viele Tage am 1. Januar eines Jahres seit dem letzten Neumonde verflossen sind, wird Epakte genannt.

Den Mittelpunkt der kalendarischen Festrechnung bildet die (cyklische) Bestimmung des Ostersonntags. Nach diesem richten sich alle übrigen beweglichen Feste. Die (seit dem Konzilium zu Nicäa, 325 n. Chr.) geltende Bestimmung ist: daß Ostern an dem Sonntage gefeiert werden soll, der zunächst dem ersten Vollmonde nach der stets auf den 21. März fallenden Frühlingsnachtgleiche folgt. Fällt dagegen dieser Vollmond selbst auf einen Sonntag, so soll Ostern auf den nächstfolgenden Sonntag verlegt werden. Hiernach kann Ostern niemals früher als auf den 22. März und nie später als auf den 25. April fallen. Auf diese Vorschriften gründet sich folgende (von Gauß) gegebene Datumberechnung des Ostersonntags für jedes Jahr des gegenwärtigen Jahrhunderts:

1. Man dividiere die Jahreszahl der Reihe nach durch 19, 4 und 7 und nenne die übrigbleibenden Reste in derselben Reihenfolge a, b, c.

2. Man dividiere $19a + 23$ durch 30 und nenne den Rest d.

3. Man dividiere $2b + 4c + 6d + 4$ durch 7 und nenne den Rest e.

Dann fällt Ostern stets auf den $(22. + d + e)$ten März, oder, wenn $d + e > 9$ ist, auf den $(d + e - 9)$ten April.

Von dieser Regel finden im Gregorianischen Kalender zwei Ausnahmen statt. Gibt die Rechnung den 26. April, so hat man statt dessen den 19. zu nehmen; gibt sie ferner den 25. April und ist gleichzeitig $d = 18$ und $a > 10$, so ist der 18. April zu nehmen.

§. 103.

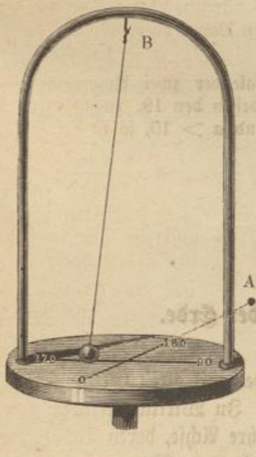
Die tägliche Umdrehung der Erde.

Der tägliche Umschwung des Himmelsgewölbes mit allen Gestirnen von O nach W um die Erde ist nur eine Täuschung. In Wirklichkeit dreht sich die Erde in 24 Stunden einmal von W nach O um ihre Achse, deren Verlängerung die Himmelspole bezeichnet. Weil diese Achsendrehung vollkommen gleichförmig stattfindet und der unmittelbaren Wahrnehmung jeder Anhaltspunkt fehlt, sich davon zu überzeugen, glaubte man Jahrhunderte lang irrtümlich, daß die Erde ruhe und der Himmel sich bewege.

Einen direkten Beweis für die Rotation der Erde lieferten Versuche mit frei fallenden Kugeln, welche Benzenberg (1802) im Michaelisturme zu Hamburg und später in den Kohlenbergwerken bei Schlebusch anstellte. Wenn sich nämlich die Erde um ihre Achse dreht, so beschreibt ein Gegenstand täglich einen um so größeren Kreis, je höher er sich auf der Erdoberfläche befindet. Die Spitze eines Kirchturmes durchläuft täglich eine größere Bahn als der Fuß des Turmes, weil dieser dem Mittelpunkte der Erde näher ist. Die Spitze muß sich demnach schneller in der Richtung von W nach O bewegen, als die tieferen Teile des Turmes. Läßt man aus bedeutender Höhe eine Kugel niederfallen, so besitzt dieselbe im Momente des Herabfallens die größere Geschwindigkeit gegen O, welche ihrer Höhe entspricht, und sie muß daher etwas gegen O ausweichen. Diese östliche

Abweichung der aus bedeutenden Höhen frei herabfallenden Kugeln hat Benzenberg in der That bei seinen zahlreichen Versuchen beobachtet. Sie betrug, in Übereinstimmung mit der Berechnung, freilich nur einige Linien, weil die Höhen, bei denen er operieren konnte, nur verhältnismäßig gering sind; aus 3000 m Höhe herabfallend müßten dagegen Kugeln eine östliche Abweichung von über 2 m zeigen. Einen sehr sinnreichen, gewissermaßen greifbaren Beweis für die Rotation der Erde hat Foucault (1850) geliefert. Wenn man ein einfaches Pendel hin und her schwingen läßt, so behält es seine Schwingungsebene unverändert bei, selbst wenn die Richtung seines Aufhängepunktes mit bezug auf die Weltgegenden verändert wird. Man kann dies durch die einfache Vorrichtung, Fig. 136, leicht zeigen. Läßt man die in *B* aufgehängte Pendelkugel in der Richtung auf *A* zu schwingen, welche mit der Linie 0 — 180 zusammenfällt, so behält das Pendel bei der Drehung des Gestells um seine untere Achse die Schwingungsrichtung gegen *A* hin unverändert bei. Man denke sich nun einen Beobachter auf einem der Erdpole. Derselbe besitze ein Pendel von größter Einfachheit, bestehend aus einer homogenen, schweren Kugel, die mittels eines biegsamen Fadens in einem festen Punkte hängt, der genau in der Verlängerung der Erdachse liegt. Die Stützen, welche diesen Punkt tragen, sollen an der Umdrehung der Erde nicht teilnehmen. Gesetzt, dies wäre zu ermöglichen und man lasse nun das Pendel, nachdem es aus der Gleichgewichtslage abgelenkt worden, ohne Seitenstoß hin und her schwingen, so wird es seine Schwingungsebene beibehalten. Wenn also die Oscillationen dieses Pendels eine hinreichende Zeit andauern, so muß die Bewegung der Erde, die in der Richtung von W nach O vor sich geht, durch den Kontrast mit der Unbeweglichkeit der Schwingungsebene des Pendels sichtbar werden, indem diese letztere eine übereinstimmende Bewegung mit derjenigen der Himmelskugel zu haben scheint. Würden die Schwingungen 24 Stunden ununterbrochen andauern, so würde ihre Ebene eine volle Drehung um den Aufhängepunkt vollführen. Die hier vorausgesetzten Bedingungen sind in Wirklichkeit allerdings nicht zu erfüllen. Der Stützpunkt befindet sich auf der sich drehenden Erde, ebenso kann der Aufhängepunkt des Pendelfadens der täglichen Bewegung nicht entzogen werden. Indessen beweist der Versuch, daß diese Umstände das Gelingen des Experiments nicht wesentlich beeinträchtigen. Endlich kann man das Pendel auch nicht unter einem der beiden Erdpole schwingen lassen, allein es läßt sich auf mathematischem Wege zeigen, wie sich die Drehung unter einer beliebigen geographischen Breite gestalten muß und diese theoretische Bestimmung wird durch die Experimente vollständig bestätigt.

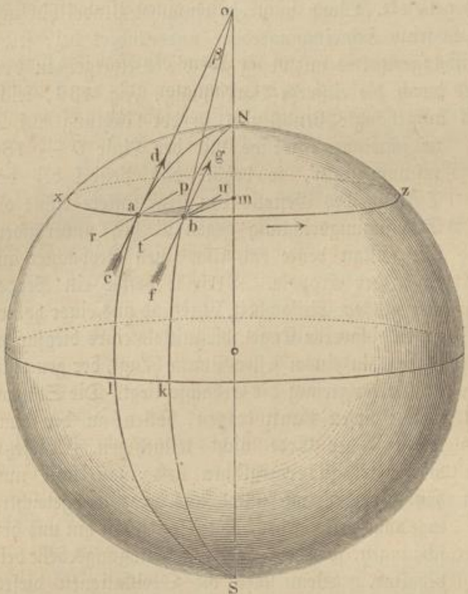
Fig. 136.



Um die Größe der Drehung, welche die Schwingungsebene des Pendels unter einer beliebigen geographischen Breite erleidet, zu bestimmen, dient folgende Betrachtung.

Es sei (Fig. 137) NS die Erdachse, a ein Ort der Erdoberfläche und cd die Schwingungsrichtung des Pendels. Diese Richtung bildet eine Tangente an den Meridian NaS und schneidet die Verlängerung der Erdachse in dem Punkte o. Kommt infolge der Erdumdrehung der Punkt a nach b, so wird das Pendel in der Richtung fg schwingen, die mit cd parallel ist. Die Tangente an den Meridian in b hat dagegen die Richtung bo. Das Pendel scheint also seine Schwingungsebene gegen den Meridian um den Winkel obg gedreht zu haben. Dieser Winkel ist gleich dem Winkel aob, der durch β bezeichnet werden möge. Wird ferner Winkel amb durch α bezeichnet, so hat man:

Fig. 137.



$$\text{Bogen } ab = 2\pi . ao \cdot \frac{\beta}{360}$$
$$= 2\pi . am \cdot \frac{\alpha}{360}.$$

Hieraus folgt

$$ao . \beta = am . \alpha,$$

also

$$\beta = \frac{am}{ao} \cdot \alpha.$$

Es ist aber, wenn φ die geographische Breite des Punktes a bezeichnet:

$$am = ao . \sin \varphi.$$

Setzt man diesen Wert von am in die vorhergehende Gleichung ein, so erhält man:

$$\beta = \alpha . \sin \varphi.$$

Hier bezeichnet α den Winkel, um welchen sich die Erde gedreht hat und der in jeder Stunde 15° beträgt. Man erhält daher den Winkel, um welchen sich für einen Ort der Erdoberfläche die Schwingungsebene des frei schwingenden Pendels in jeder Stunde dreht, durch Multiplikation von 15° mit dem Sinus der geographischen Breite des Ortes. Für die Pole erreicht also die Drehung ihren größten Wert, am Äquator ist sie Null.

§. 104.

Die jährliche Bewegung der Erde. Jahreszeiten.

Wie der tägliche Umschwung des Himmelsgewölbes um die Erde nur scheinbar ist, so ist auch die jährliche Bewegung der Sonne nur scheinbar und wird hervorgerufen durch eine jährliche Bewegung der Erde um die Sonne. Die ausführliche Darlegung der Gründe, welche zu dieser Annahme zwingen, gehört in das Gebiet der Astronomie. Hier nur so viel, daß die jährliche Bewegung der Erde um die Sonne sich in kleinen, scheinbaren Bewegungen der Fixsterne abspiegelt, ähnlich wie die Bewegung eines Schiffes an der entgegengesetzten des Ufers wahrgenommen wird. Die scheinbare Sonnenbahn oder Ekliptik ist in Wahrheit ein Abbild der Erdbahn und die Sonne ruht.

Die Erde besitzt also eine doppelte Bewegung, eine Umdrehung um ihre Achse, durch welche die Abwechselung von Tag und Nacht, und einen Umlauf um die Sonne, durch welchen das Jahr entsteht.

Die Achse der Erde steht nicht rechtwinkelig auf der Ebene der Erdbahn, sondern macht mit dieser einen Winkel von 66° 32′, der Erdäquator also einen solchen von 23° 28′, entsprechend der Schiefe der Ekliptik. Bei der jährlichen Bewegung der Erde bleibt ihre Achse stets sich selbst parallel. Infolge dieser Umstände entsteht der Wechsel der Jahreszeiten und die Ungleichheit der Tagesdauer.

Jahreszeiten. Es sei, Fig. 138 (a. f. S.), S die Sonne und A, B, C, D die Erde in verschiedenen Lagen ihrer Bahn. In dem Punkte A steht die Sonne senkrecht über dem Äquator und ihre Strahlen tangieren den Nord- und Südpol der Erde. Der durch die Erdkugel gehende größte Kreis (Lichtgrenze), welcher die beleuchtete von der nicht beleuchteten Hälfte der Erde trennt, geht daher durch die beiden Pole und teilt alle Parallelkreise in gleiche Hälften. Wegen der gleichförmigen Achsendrehung der Erde bleibt also jeder Punkt ihrer Oberfläche außerhalb der Pole, ebensolange auf der der Sonne zugewandten Seite wie auf der abgewandten. Tag und Nacht sind daher nun an Dauer gleich. Dieses findet zum ersten Male im Jahre statt, wenn die Sonne am Himmel in das Zeichen des Widders tritt, am 21. März, und man nennt diese Zeit das Frühlingsäquinoktium. Für die nördliche Erdhälfte beginnt nun (astronomisch) der Frühling, für die südliche der Herbst. Am 21. Juni befindet sich die Erde in dem Punkte B. Ihr Nordpol ist jetzt der Sonne um den Winkel von 23° 28′ zugewandt. Infolgedessen steht die Sonne senkrecht über dem Punkte o, der 23° 28′ nördlich vom Erdäquator liegt, und hat damit ihre größte Höhe für die nördliche Erdhalbkugel erreicht. Es findet das Sommersolstitium statt und die Sonne tritt zu dieser Zeit am Himmel in das Zeichen des Krebses. Zieht man durch den Punkt o auf der Erde einen dem Äquator parallelen Kreis, so bezeichnet dieser die nördlichsten Punkte der Erdoberfläche, für welche die Sonne noch den Zenith erreichen kann. Man nennt diesen Kreis Wendekreis des Krebses. Gleichzeitig scheint aber die Sonne über den Nordpol hinaus und zwar bis zu dem Punkte r, der 23° 28′ jenseits dieses Pols liegt. Zieht man durch diesen Punkt parallel dem Äquator einen Kreis, so erhält man den Nördlichen Polarkreis. Alle Punkte innerhalb dieses Kreises bleiben während der Achsendrehung der Erde fortwährend auf der beleuchteten Halbkugel, haben also ununterbrochen Tag. Eine ganz ähnliche Betrachtung zeigt, daß gleichzeitig der Südpol der Erde von der Sonne abgewandt ist und dort die Lichtgrenze 23° 28′ diesseits liegt. Zieht man in dieser Entfernung vom Südpol ebenfalls einen dem Äquator parallelen Kreis, den Südlichen Polarkreis, so umschließt derselbe alle Orte, welche während der Achsendrehung der Erde fortwährend auf der Nachtseite bleiben. Diese Orte haben also jetzt ununterbrochen Nacht. Man erkennt unmittelbar aus der Figur, daß bei dieser Lage der Erdachse gegen die Sonne alle Punkte der nördlichen Hemisphäre während der Achsendrehung der Erde länger auf der beleuchteten als auf der Nachtseite verweilen und daß der umgekehrte Fall für die südliche Hemisphäre eintritt. Die nördliche Erdhälfte hat daher ihre längsten, die südliche ihre kürzesten Tage; für erstere beginnt jetzt der **Sommer**, für letztere der **Winter**. Am 23. September befindet sich die Erde in *C*. Die Lage ihrer Achse gegen die Sonne ist nun vollkommen die gleiche wie in *A*. Die Sonne steht daher zum zweiten Male im Jahre senkrecht über dem Äquator und Tag und Nacht sind an Dauer gleich. Man nennt diesen Zeitpunkt das **Herbstäquinoktium**, und die Sonne tritt dabei am Himmel in das Zeichen der Wage. Für die nördliche Erdhälfte beginnt nun der **Herbst**. Für die südliche der **Frühling**. Am 22. Dezember befindet sich die Erde in der Lage *D* und ihr Nordpol ist von der Sonne um den Winkel von 23°28′ abgewandt. Infolgedessen steht die Sonne nun senkrecht über einem Punkte *r*, der 23°28′ südlich vom Erdäquator liegt. Sie erreicht daher für die südliche Erdhälfte ihre größte Höhe, für die nördliche dagegen ihre geringste um Mittag. Es findet das **Wintersolstitium** statt und die Sonne tritt zu dieser Zeit am Himmel in das Zeichen des Steinbocks. Zieht man durch den Punkt *r* auf der Erde einen dem Äquator parallelen Kreis, so bezeichnet dieser die südlichsten Punkte der Erdoberfläche, für welche die Sonne noch den Zenith erreichen kann. Man nennt diesen Kreis **Wendekreis des Steinbocks**. Gleichzeitig scheint die Sonne nun über den Südpol hinaus und zwar bis zu einem Punkte, der 23° 28′ jenseits dieses Poles liegt. Zieht man durch diesen Punkt parallel dem Äquator einen Kreis, so erhält man den **Südlichen Polarkreis**. Alle Punkte innerhalb dieses Kreises haben ununterbrochen Tag. Gleichzeitig ist nun der Nordpol der Erde von der Sonne abgewandt und alle innerhalb des Nördlichen Polarkreises liegenden Orte

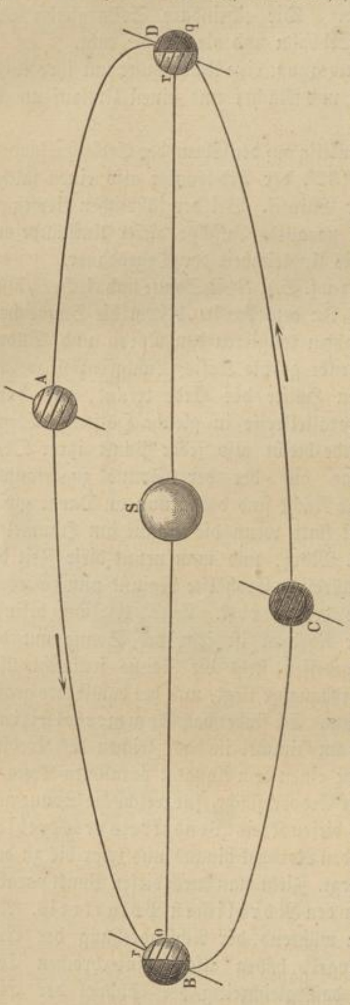


Fig. 138.

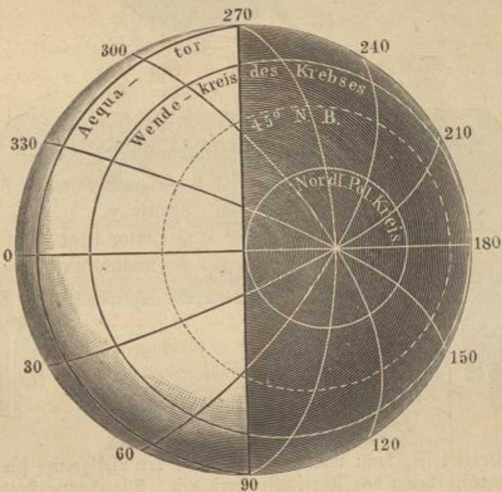
bleiben während der Achsendrehung der Erde auf der Nachtseite. Diese Orte haben also jetzt ununterbrochen Nacht. Die südliche Erdhälfte hat ihre längsten, die nördliche ihre kürzesten Tage. Für letztere beginnt jetzt der Winter, für erstere der Sommer.

§. 105.

Tagesdauer.

Für jeden Ort hängt die Dauer des Tages von der Stellung ab, welche die Sonne am Himmelsgewölbe einnimmt und die sich mit den Jahreszeiten ändert. Hat die Sonne ihre größte Entfernung nördlich vom Äquator erreicht, so ist die Tagesdauer auf der Nordhemisphäre am längsten, bei größter südlicher Entfernung der Sonne vom Erdäquator dagegen am kürzesten. Für die letztere

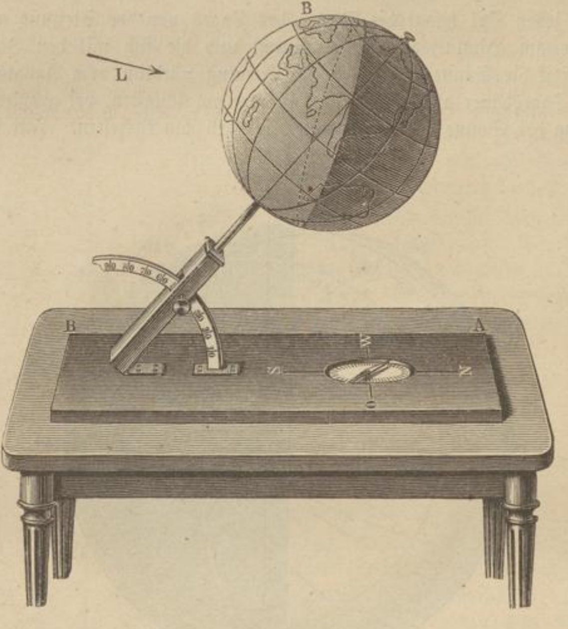
Fig. 139.



Stellung der Sonne ist die Erleuchtung der Erde, Fig. 139, perspektivisch dargestellt. Man erkennt unmittelbar, daß der ganze Nördliche Polarkreis auf der Nachtseite liegt, also kein Punkt der nördlichen kalten Zone Tag hat. Der Parallelkreis von 45° nördlicher Breite liegt fast zu $^2/_3$ auf der Nachtseite, daher hier die Dauer der Nacht um diese Zeit nahe $^2/_3$ von 24 Stunden, also 16 Stunden, beträgt. Unter dem Wendekreise des Krebses liegt bereits ein verhältnismäßig größerer Teil des Parallelkreises auf der Tagseite, so daß die Dauer der Nacht dort ungefähr $13^1/_2$ Stunden beträgt.

Tellurium. Um die Beleuchtungsverhältnisse der Erde durch die Sonne unmittelbar darzustellen, dient das Tellurium, Fig. 140. Es besteht aus einem Erdglobus, dessen Achse parallel derjenigen der Erde gerichtet und der den Sonnenstrahlen ausgesetzt wird. Alsdann stellt derselbe für den betreffenden Tag genau die Lichtgrenze dar. Man erhält die Stellung leicht mittels des in der Figur sichtbaren Gradbogens, nachdem der Fuß AB genau horizontal steht. Um die Achse des Globus parallel der Erdachse zu stellen, muß die Linie NS, welche auf dem Fuße gezogen ist, in den Meridian gebracht werden. Dies geschieht mittels einer in der Abbildung sichtbaren Magnetnadel, doch ist nicht zu übersehen, daß im mittleren Europa das Nordende der Nadel etwas westlich vom astronomischen Nordpunkte abweicht. Nachdem das Tellurium in

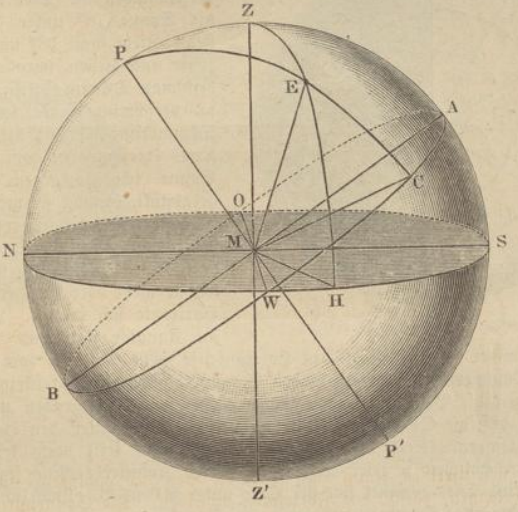
Fig. 140.



dieser Weise orientiert ist, kann man leicht die Lage der Lichtgrenze für jeden Augenblick daran erkennen, ebenso das Fortrücken derselben. Die Sonnenstrahlen erleuchten stets die Hälfte einer Kugel, gleichgültig ob diese groß oder klein ist. Vergleicht man die Verteilung von Licht und Schatten auf zwei verschieden großen Globen, deren Achsen parallel sind und welche man den Sonnenstrahlen aussetzt, so findet man, daß die Grenze zwischen Licht und Schatten den Äquator wie jeden anderen Parallelkreis dieser Globen auf ähnliche Weise schneidet. Daraus folgt, daß für den gegebenen Tag die Verteilung von Licht und Schatten auf dem Tellurium genau dieselbe ist wie auf der Erde. Aber das Tellurium gibt diese Verteilung nicht allein für den Tag, sondern auch für jede Tageszeit, sobald man es in derselben Weise gegen die Sonne wendet, in welcher die Erdoberfläche zu ihr steht. In diesem Falle ist es nur nötig, den Ort, welchen man untersucht, z. B. B, etwa Berlin, in die Meridianebene auf den höchsten Punkt des Globus zu bringen. In diesem Falle stimmen die Hemisphären des Globus, die Nachthalbkugel sowohl als die Tageshälfte, genau mit denjenigen der Erde überein. Sobald man den Globus in dieser Weise orientiert hat und einige Zeit hindurch beobachtet, so bemerkt man, daß die Trennungslinie von Licht und Schatten nicht unbeweglich bleibt. Wenn sich der Beobachter der Sonne zuwendet, so treten die ihm rechts liegenden Teile des Globus nach und nach aus dem Schatten hervor und diejenigen an der linken Seite in denselben ein. Die ersten haben dann in Wirklichkeit Sonnenaufgang, die zweiten Sonnenuntergang. Da der Globus die doppelte Bewegung der Erde mitmacht, so wird er im Laufe des Jahres in der Verteilung des Schattens und des Lichtes alle Veränderungen darbieten, welche sich in derselben Zeit auf der Erde vollziehen. Am Tage zeigt er daher ganz denselben Anblick, welchen die Erde darbietet, wenn wir sie aus geeigneter Entfernung betrachten könnten. Natürlich kann ein so aufgestellter Globus nur wirken, wenn er von der Sonne beschienen wird. Er hat aber den großen Vorteil, daß er in fast genauer Weise ein Bild der Natur gibt, daß er von der Sonne selbst erleuchtet wird und daß die Trennungslinie von Tag und Nacht durch die Strahlen der Sonne selbst bezeichnet wird.

Berechnung der Tagesdauer. Um die Tagesdauer für eine gegebene Zeit und einen gegebenen Ort zu berechnen, sei, Fig. 141, M der Beobachtungsort, Z dessen

Fig. 141.



Zenith, P der Nordpol des Himmels und NZS der Meridian. Da der halbe Tag von Sonnenaufgang bis Mittag dauert, wo die Sonne den Meridian erreicht, so findet man die halbe Tagesdauer, wenn man den Stundenwinkel der Sonne für den Moment des Sonnenaufgangs kennt. Die Sonne geht aber auf (und unter), wenn ihre Zenithdistanz 90° beträgt. Bezeichnet nun E den Ort der Sonne, so ist Winkel ZPE der Stundenwinkel, ZE die Zenithdistanz und PE die Poldistanz der Sonne. Bezeichnet man die geographische Breite mit b, die Deklination der Sonne mit d, ihre Zenithdistanz mit z und den Stundenwinkel mit s, so ist in dem sphärischen Dreieck ZPE:

$$PZ = 90^0 - b,\ PE = 90^0 - d,\ ZE = z \text{ und Winkel } ZPE = s.$$

Man hat daher:

$$\cos z = \sin b \,.\, \sin d + \cos b \,.\, \cos d \,.\, \cos s.$$

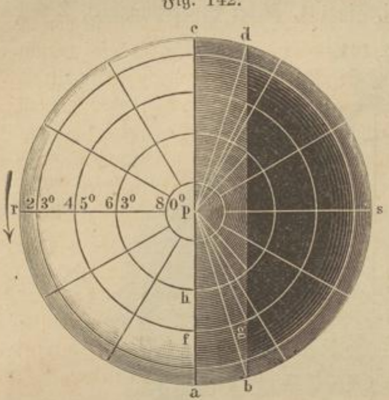
Für den Moment des Auf- und Unterganges der Sonne, wo $z = 90^0$, erhält man also:

$$\cos s = - \operatorname{tang} b \,.\, \operatorname{tang} d.$$

Verwandelt man den Bogen s in Zeit, so findet man die halbe Tagesdauer. Subtrahiert man diese letztere vom Mittage, so erhält man den Moment des Sonnenaufgangs, durch Addition den des Sonnenuntergangs nach wahrer Zeit, die durch Anbringung der Zeitgleichung in mittlere verwandelt wird.

Die Tagesdauer wird in Wirklichkeit durch mehrere Umstände etwas über die mathematisch bestimmte Dauer verlängert. Den größten Einfluß in dieser Beziehung verursacht die Dämmerung. Wenn die Sonne noch unter dem Horizont steht, erreichen ihre Strahlen bereits die oberen Luftschichten und werden hier zurückgeworfen, wodurch eine ziemliche Helligkeit verbreitet wird. Man unterscheidet bürgerliche und astronomische Dämmerung. Die erstere erreicht ihr Ende, wenn man ohne Licht in den Wohnungen nicht mehr sehen kann, und dies findet statt, sobald die Sonne 6^0 bis $6^1/_2{}^0$ tief unter den Horizont gesunken ist. Die astronomische Dämmerung endigt dagegen erst, wenn der letzte Schein von Helligkeit am westlichen Himmel verschwunden ist. Dies tritt ein, wenn die Sonne 18^0 unter dem Horizonte steht. Zieht man 18^0 unter dem Horizonte und diesem parallel einen Kreis, den man Dämmerungskreis nennt, so verschwindet die letzte Spur der Dämmerung, sobald die Sonne diesen Kreis erreicht. In dem Maße als die Sonne schräger gegen den Horizont herabsinkt, braucht sie mehr Zeit, diesen Dämmerungskreis zu erreichen, weil sie bei gleicher Geschwindigkeit einen längeren Weg zurückzulegen hat als da, wo sie mehr oder weniger senkrecht zum Horizonte sich bewegt. Letzteres findet am Äquator statt und die Bahn der Sonne liegt immer schräger gegen den Horizont, je mehr man sich vom Äquator entfernt. Die Dämmerung ist daher in den Äquatorealgegenden am kürzesten und wird beiderseits gegen die Pole hin immer länger. Für gewisse Gegenden und Zeiten ereignet es sich, daß die Sonne überhaupt nicht bis zu 18^0 unter den Horizont herabsinkt, den Dämmerungskreis also gar nicht erreicht. Es tritt dann keine eigentliche Nacht, sondern zwischen je zwei Tagen bloß eine ununterbrochene (mitternächtliche) Dämmerung ein. Dies ereignet sich für Orte unter 50^0 n. B. alljährlich am 1. Juni. Um die Zunahme der Dämmerungsdauer vom Äquator gegen die Pole hin zu veranschaulichen, dient Fig. 142. In derselben ist $a\,s\,c\,r$ der Äquator, p der Nordpol der Erde, $c\,p\,a$ die Lichtgrenze. Bezeichnet Bogen $a\,b = c\,d = 18^0$ die Dämmerungszone, so ist $b\,d$ ein als gerade Linie erscheinender Teil des Dämmerungskreises, $d\,s\,b$ aber der in völliger Nacht liegende Teil der Erde. Man sieht, daß jeder Ort die Dämmerungszone im Verlaufe einer Erdumdrehung zweimal passiert, und daß ein um so größerer Teil jedes Parallelkreises in der Dämmerungszone liegt, je näher dieser Parallelkreis selbst sich beim Pole p befindet. Da nun alle Parallelkreise in der gleichen Zeit von 24 Stunden um die Erdachse herumgeführt werden, so muß die Dämmerungsdauer vom Äquator gegen die Pole hin zunehmen.

Fig. 142.

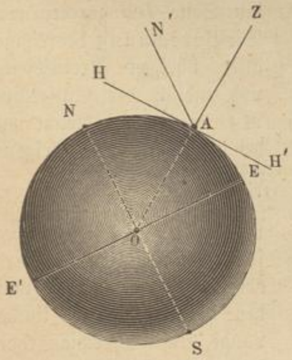


§. 106.

Bestimmung der Größe und Gestalt der Erde.

Eine Anzahl unmittelbarer Wahrnehmungen beweist, daß die Erde im allgemeinen die Gestalt einer Kugel besitzt; über den Halbmesser dieser Kugel läßt sich jedoch nur durch bestimmte Messungen Auskunft gewinnen. Das Prinzip dieser Messungen ist in seiner einfachsten Weise folgendes. Es sei, Fig. 143, N der Nord-, S der Südpol, $E'E$ der Äquator der Erdkugel, A ein Ort unter beliebiger nördlicher Breite. Mißt man den Bogen AE und drückt seine Länge beispielsweise in Meilen aus, so verhält sich offenbar diese Meilenzahl zu derjenigen des ganzen Erdumfangs wie Bogen AOE zum ganzen Kreisumfange. Bogen AOE ist aber die geographische Breite von A und die Bestimmung der Größe der Erde beruht also auf Ermittelung der geographischen Breiten und der linearen (in Metern oder Meilen ausgedrückten) Länge des Bogens AE oder des Abstandes der Breitenkreise von A und E. Da es hierbei auf Ermittelung der linearen Länge eines Grades oder mehrerer Grade des Meridians ankommt, so nennt man das ganze Verfahren Gradmessung.

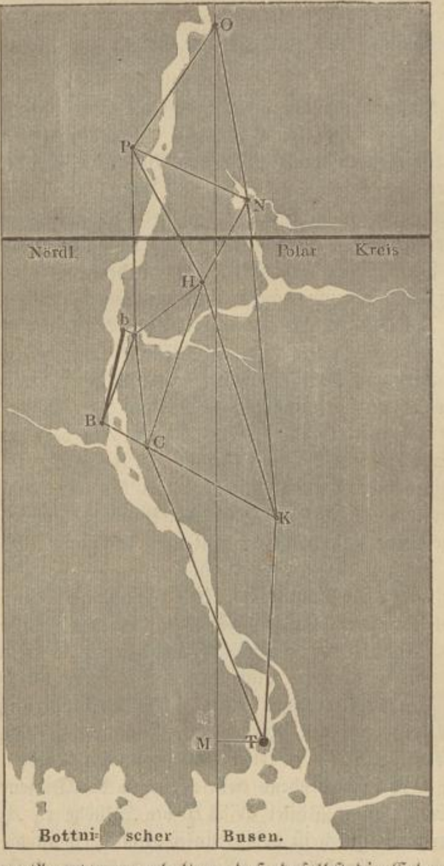
Fig. 143.



Bestimmung der geograpischen Breite. Es sei, Fig. 143, in dem Punkte A, HH' der Horizont, Z das Zenith, so trifft die verlängerte Linie ZA den Mittelpunkt O der kugelförmigen Erde. Die Verlängerung der Erdachse SN über N hinaus trifft auf den Nordpol des Himmels. Zieht man parallel zu SN durch A die Linie AN', so trifft auch diese den Nordpol des Himmels, da die Entfernung OA verschwindend klein ist gegen die Dimensionen des Himmelsraumes. Es ist nun Winkel $N'AH$ die Polhöhe in A. Da aber derselbe Winkel offenbar auch gleich ist dem Winkel AOE, so ist die geographische Breite gleich der Polhöhe. Mißt man daher in A die Höhe des Himmelspols über dem Horizont, so erhält man damit die geographische Breite dieses Punktes.

Bestimmung des linearen Abstandes der Breitenkreise. Der lineare Abstand AE kann durch unmittelbare Messung mit Maßstäben oder einer Kette gefunden werden. Dieses Verfahren ist jedoch bei größeren Entfernungen äußerst mühevoll, oft nicht ausführbar und stets sehr ungenau. Man wendet daher zu dieser Bestimmung ausschließlich die Methode der Triangulierung an. Fig. 144 (a. f. S.) dient zur Erläuterung des Verfahrens. Sie bezieht sich auf eine wirkliche Triangulation, die (1736) unter dem Nördlichen Polarkreise ausgeführt wurde, um die Größe der Erde zu ermitteln. Es handelte sich dabei um Ermittelung des Abstandes OM der beiden unter demselben Meridiane liegenden Punkte O und M. Zu diesem Zwecke wurde zunächst eine kurze Strecke Bb, die Basis, direkt mittels Maßstäben abgemessen und ihre Endpunkte wurden durch Winkelmessungen mit einer Anzahl hervorragender Punkte C, H, K u. s. w. zwischen M und O verbunden. Auf diese Weise entstand ein System zusammenhängender Dreiecke, in welchen alle Winkel und unter denen bei einem außerdem die Länge der Seite Bb gegeben war. Die **Berechnung** der Längen aller übrigen Dreiecksseiten und endlich der Entfernung MO erfolgt nun leicht nach den Formeln der Trigonometrie.

Fig. 144.



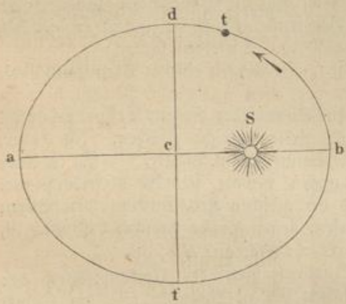
Abplattung. Die Gradmessungen, welche an verschiedenen Punkten der Erdoberfläche vorgenommen wurden, zeigten, daß die lineare Länge eines Meridiangrades unter dem Äquator kleiner ist als in der Nähe der Pole. Hieraus folgt, daß man unter höheren Breiten einen längeren Weg zurücklegen muß, um gleiche Krümmung wie am Äquator zu erhalten, daß daselbst die Erde also weniger gekrümmt, flacher, d. h. abgeplattet ist.

§. 107.

Die Erdbahn.

Die Erde bewegt sich im Laufe eines Jahres um die Sonne, wodurch die scheinbare kreisförmige Bewegung der letzteren durch die Ekliptik entsteht. Allein die Erdbahn ist nicht in aller Strenge kreisförmig, sondern bildet eine **Ellipse**, in deren einem Brennpunkte die Sonne steht. Fig. 145 stellt diese Bahn dar, doch weicht der Deutlichkeit halber die Ellipse hier mehr vom Kreise ab als der Wirklichkeit bei der Erdbahn entspricht. S bezeichnet die Sonne, t die Erde. Die große Achse ab der Ellipse führt den Namen Apsidenlinie, Sc ist die Exzentrizität der Ellipse, sie beträgt bei der Erdbahn nur $^1/_{60}$ der halben großen Achse cb.

Fig. 145.



In dem Punkte b steht die Erde der Sonne S am nächsten. Man nennt diesen Punkt das Perihelium und die Erde erreicht dasselbe am 1. Januar. In dem Punkte a ist die Erde von der Sonne S am weitesten entfernt. Man nennt diesen Punkt das Aphelium und die Erde erreicht dasselbe am 1. Juli.

Einen Beweis für die ungleiche Entfernung der Erde von der Sonne S in den Punkten a und b liefert der scheinbare Durchmesser der letzteren. Wenn die Erde sich in b befindet, so erscheint die Sonnenscheibe nahezu um $^1/_{30}$ größer, als wenn die Erde sich in a befindet. Da sich aber die scheinbaren Größen eines Gegenstandes umgekehrt wie die Entfernungen verhalten, so ergibt sich, daß Sc nahezu $= {}^1/_{60}\ cb$ sein muß.

Die Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn ist nicht gleichförmig, vielmehr ist dieselbe in dem Perihelium b am schnellsten, im Aphelium a am langsamsten. Dies folgt unmittelbar aus der Bewegung der Sonne in der Ekliptik, welche die Erdbewegung abspiegelt und zu den angegebenen Zeiten sich ebenfalls so verhält.

Der wahre Durchmesser der Erdbahn beträgt in der großen Achse 40 Millionen Meilen. Im Perihelium ist daher die Erde $19^1/_3$, im Aphelium $20^2/_3$ Millionen Meilen von der Sonne entfernt.

§. 108.

Weltstellung der Erde.

Die Erde ist nicht der einzige Weltkörper, welcher sich in einer elliptischen, fast kreisförmigen Bahn von W nach O um die Sonne bewegt und von dieser Licht und Wärme empfängt. Außer ihr existiert noch eine Anzahl anderer Himmelskörper, die in dem gleichen Abhängigkeitsverhältnisse zur Sonne stehen. Man nennt diese Klasse von Weltkörpern Planeten. Sie bilden in ihrer Gesamtheit das Planetensystem der Sonne. Die fremden Planeten sind sämtlich so weit von unserer Erde entfernt, daß sie dem bloßen Auge höchstens nur als leuchtende Punkte wie die Fixsterne erscheinen. Während diese aber ihren Ort am Himmelsgewölbe nicht verändern, bewegen sich die Planeten fortwährend, aber scheinbar unregelmäßig, bald von W nach O (rechtläufig), bald von O nach W (rückläufig), daher auch ihr Name.

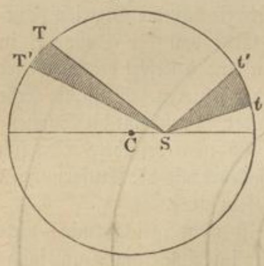
Die Alten konnten sich die unregelmäßigen, bald rechtläufigen, bald rückläufigen Bewegungen und die ungleichen Geschwindigkeiten der Planeten nur sehr schwierig erklären, weil sie die Erde als unbeweglich voraussetzten. Erst als Nikolaus Kopernikus (1473 bis 1543) das wahre Weltsystem erkannte, nach welchem sich die Erde um die Sonne bewegt, ergab sich die einfache Erklärung. Jene Unregelmäßigkeiten entstehen dadurch, daß wir nicht im allgemeinen Mittelpunkte der Planetenbewegung, also auf der Sonne, stehen, sondern nur von der Erde aus beobachten können, die selbst in Bewegung um die Sonne begriffen ist.

Um die genaue Erforschung der Gesetze, nach welchen die Planetenbewegung erfolgt, hat sich Kepler (1571 bis 1630) unsterbliche Verdienste erworben, indem er die nach ihm benannten Regeln der Planetenbewegung auffand. Dieselben lauten:

1. Die Planeten bewegen sich in Ellipsen, in deren einem Brennpunkte die Sonne steht.

2. Die Linie von irgend einem Planeten zur Sonne (der Radius Vektor) beschreibt bei der Bewegung dieses Planeten in gleichen Zeiten gleiche Flächen. Ist daher, Fig. 146, S die Sonne, t ein Planet, der sich in einer gewissen Zeit nach t' bewegt, so wird derselbe Planet in T während der gleichen Zeitdauer nur den Bogen TT' durchlaufen, dessen Größe dadurch bestimmt ist, daß Fläche $t'St$ = Fläche TST' ist.

Fig. 146.



3. Die Quadratzahlen der Umlaufszeiten der Planeten verhalten sich zu einander wie die Kubikzahlen ihrer mittleren Entfernungen von der Sonne.

Später fand Newton (1643 bis 1727) die mechanische Begründung der Keplerschen Regeln in dem von ihm entdeckten Gesetze der allgemeinen Anziehung. Dasselbe lautet: Die Anziehung eines Körpers auf einen außerhalb desselben gelegenen Punkt verhält sich direkt wie die Masse dieses Körpers und umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung desselben von dem angezogenen Punkte.

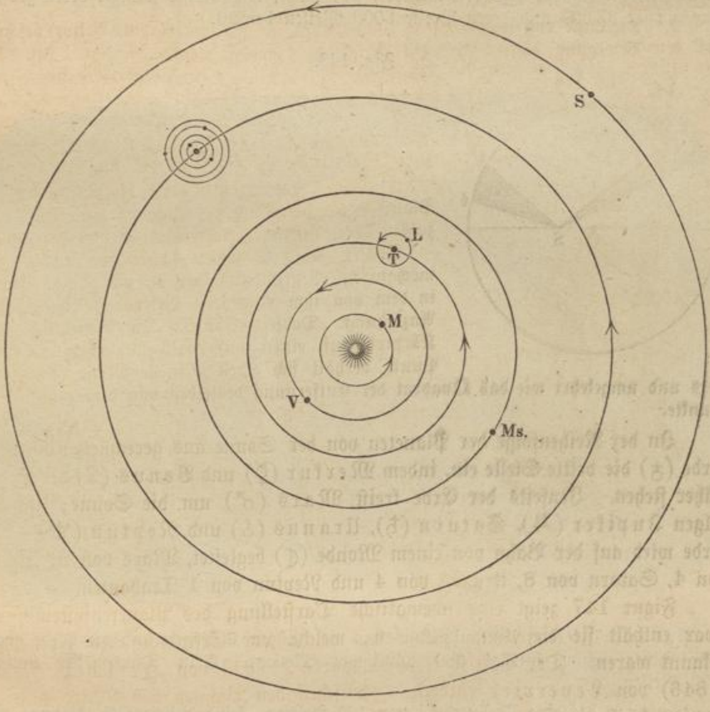
In der Reihenfolge der Planeten von der Sonne aus gerechnet, nimmt die Erde (♁) die dritte Stelle ein, indem Merkur (☿) und Venus (♀) der Sonne näher stehen. Jenseits der Erde kreist Mars (♂) um die Sonne; auf ihn folgen Jupiter (♃), Saturn (♄), Uranus (♅) und Neptun (♆). Die Erde wird auf der Bahn von einem Monde (☾) begleitet, Mars von 2, Jupiter von 4, Saturn von 8, Uranus von 4 und Neptun von 1 Trabanten.

Figur 147 zeigt eine schematische Darstellung des Planetensystems, und zwar enthält sie diejenigen Planeten, welche vor Erfindung des Fernrohres bekannt waren. Der Planet Uranus wurde (1781) von Herschel, Neptun (1846) von Leverrier entdeckt. Zwischen den Bahnen des Mars und des Jupiter kreist ein Schwarm sehr kleiner Planeten, deren genaue Zahl man noch nicht kennt und die nur in Fernrohren gesehen werden können. Auch sie wurden erst nach und nach im gegenwärtigen Jahrhundert entdeckt. Man bezeichnet sie zum Unterschiede von den oben aufgeführten Hauptplaneten mit dem Namen Asteroiden.

Der Hauptkörper des ganzen Planetensystems ist die Sonne. Sie bildet den Bewegungsmittelpunkt desselben und spendet den Planeten Licht und Wärme. Der Durchmesser der Sonne beträgt 186 000 Meilen und sie dreht sich in 25 Tagen 5 Stunden einmal um ihre Achse. Der ganze Sonnenkörper ist ein unermeßlicher Glutball, der von einer minder heißen, glühenden Gashülle umgeben wird. In diesem Gasballe ist (gemäß der Spektralanalyse) eine große Anzahl von Stoffen vorhanden, die auch unsere Erde aufweist: Eisen, Kupfer, Natrium und besonders Wasserstoff. Auf der Sonnen-oberfläche entstehen und verschwinden dunkle Flecke von verschiedener Größe, die wahrscheinlich wolken- oder schlackenartige Produkte sind.

Der **Mond** ist nächst der Sonne der für die Erde wichtigste Himmelskörper. Sein Durchmesser beträgt nur 468 Meilen. Da er indes im Durchschnitt nur 51 800 Meilen vom Erdmittelpunkte entfernt ist, so **erscheint** er uns gleichwohl nahe von derselben Größe wie die Sonne. Schon mit bloßem Auge erkennt man auf der Mondscheibe ein Gemisch dunkler und heller Flecke. Erstere zeigen sich im Fernrohre als flache Ebenen, letztere meist als kreisförmige Gebirgsformationen (Ringgebirge und Krater).

Fig. 147.



Von den **Eigentümlichkeiten der fremden Hauptplaneten** ist folgendes hervorzuheben:

Merkur ist nur in heller Dämmerung sichtbar. Er vollendet seinen Umlauf um die Sonne in 88 Tagen und die halbe große Achse seiner Bahn beträgt 8 Millionen Meilen. Sein Durchmesser umfaßt 640 Meilen. Er dreht sich in 24 Stunden 5 Minuten einmal um seine Achse.

Venus, der glänzendste Stern des Himmels, bekannt als Morgen- und Abendstern, hat eine Umlaufsdauer von $224\frac{2}{3}$ Tagen und ihre mittlere Entfernung von der Sonne ist 15 Millionen Meilen. Ihr Durchmesser beträgt 1650 Meilen und ihre Rotationsdauer 23 Stunden 21 Minuten.

Mars, durch rötliches Licht auffallend, vollendet seinen Lauf um die Sonne in 687 Tagen. Seine mittlere Entfernung von der Sonne beträgt 30 Millionen Meilen, sein Durchmesser 900 Meilen und die Dauer seiner Achsendrehung 25 Stunden 37 Minuten. Auf seiner Oberfläche befinden sich Festländer und Meere wie auf der Erde.

Jupiter, der größte aller Planeten, hat eine Umlaufszeit um die Sonne von 11 Jahren 315 Tagen. Seine mittlere Entfernung von der Sonne ist 104 Millionen Meilen. Sein Durchmesser beträgt 18 500 Meilen, seine Rotationsdauer 9 Stunden 55 Minuten. Seine Oberfläche ist von einer wolkigen Hülle umgeben.

Saturn läuft um die Sonne in 29 Jahren 167 Tagen und seine mittlere Entfernung beträgt 190 Millionen Meilen. Er hat einen Durchmesser von 15 000 Meilen und die Dauer seiner Umdrehung beträgt 10 Stunden 14 Minuten. Frei über der Ebene seines Äquators schweben mehrere, sehr flache, konzentrische Ringe, deren größter Durchmesser 37 000 und deren Breite 6000 Meilen beträgt.

Fig. 148.

Uranus hat eine Umlaufsdauer von 84 Jahren 6 Tagen und die halbe große Achse seiner Bahn beträgt 380 Millionen Meilen. Sein Durchmesser umfaßt 7500 Meilen.

Neptun hat eine Umlaufszeit von 165 Jahren, seine mittlere Entfernung von der Sonne beträgt 600 Millionen Meilen und sein Durchmesser 8000 Meilen.

Außer den Planeten gibt es im Sonnensysteme noch eine andere Gattung von Weltkörpern, welche Kometen (Fig. 148) genannt werden. Es sind dies Gestirne, welche mit einer Nebelhülle und meist auch mit einem Schweife versehen, von Zeit zu Zeit, oft ganz unerwartet, am Nachthimmel auftreten und nach kurzer Zeit wieder verschwinden. Nur wenige Kometen bewegen sich in elliptischen Bahnen von sehr großer Erzentrizität um die Sonne. Diese Kometen werden periodische genannt, weil sie nach gewissen, von ihrer Umlaufsdauer abhängenden Zwischenzeiten wieder für die Erde sichtbar werden. Bei weitem die meisten Kometen bewegen sich jedoch in Bahnen, welche die größte Ähnlichkeit mit parabolischen Linien besitzen. Fig. 149 zeigt beide Arten von Kometenbahnen. Es ist dort $b\,d$ eine sehr exzentrische Ellipse, in deren einem Brennpunkte f sich die Sonne befindet. Die Linie $h\,b\,k$ ist eine Parabel, deren Brennpunkt ebenfalls f ist. Während aber ein Komet, der sich in der sehr exzentrischen Ellipse bewegt, von dem Punkte d an sich wieder der Sonne in f nähert, wird ein Komet in der parabolischen Bahn über b hinaus entweder in der Richtung nach h oder k sich immer weiter von der Sonne entfernen, ohne jemals wieder zu dieser zurückzukehren.

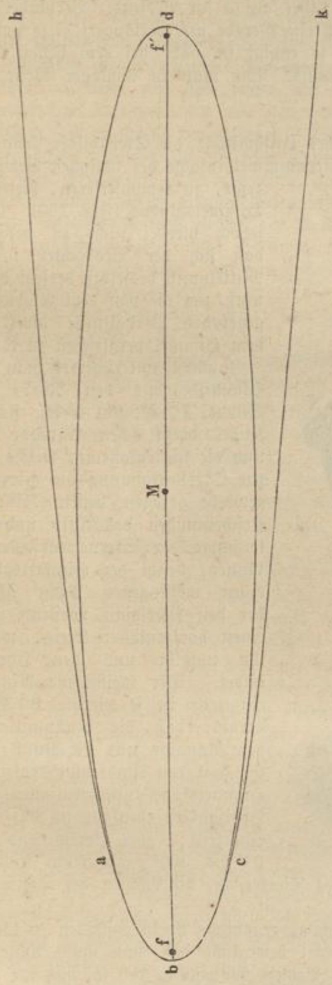


Fig. 149.

Fixsterne. Die große Menge der an der nächtlichen Himmelsdecke leuchtenden Punkte, welche ihren Ort dem Augenscheine gemäß nicht verändern, bildet das Heer der Fixsterne. Dieselben stehen in keiner näheren Beziehung zu unserer Erde. Ihre Zahl ist außerordentlich groß, denn mit der Vergrößerung der Fernrohre werden immer mehr Fixsterne sichtbar. Ihrer physischen Beschaffenheit nach sind sie Sonnen wie unsere Sonne, denn sie senden eigenes Licht und Wärme aus. Der geringe Glanz und die scheinbare Unbeweglichkeit der Fixsterne ist eine Folge ihrer ungeheuren Entfernung. Der nächste Fixstern ist von uns 4 Billionen Meilen entfernt.

Um sich am Himmel rasch orientieren zu können, hat man schon im grauen Altertume Gruppen von Sternen zu sogenannten Sternbildern zusammengefaßt, denen man willkürliche Namen beilegte. Die bekanntesten sind die Sternbilder des Tierkreises, dann der Große und Kleine Bär. Auch den hervorragenderen Sternen sind (meist durch die Araber) Namen beigelegt worden, z. B. Sirius, Wega, Arktur, Kapella. Gegenwärtig bezeichnet man die Sterne in den einzelnen Konstellationen mit den Buchstaben des griechischen Alphabets, wobei durchschnittlich der hellste Stern mit α und die minder hellen entsprechend mit den übrigen Buchstaben bezeichnet werden.

Um die einzelnen Sterne und Sternbilder kennen zu lernen, benutzt man am besten die Anleitung einer des gestirnten Himmels kundigen Person. In Ermangelung einer solchen ist die Methode des Alignements anwendbar. Man geht dabei unter Benutzung einer Sternkarte von einem bekannten Sterne aus und zieht von diesem in Gedanken Linien zu benachbarten Sternen. Am besten eignet sich hierzu das Sternbild des Großen Bären. Verbindet man die beiden Sterne β und α durch eine Linie und verlängert diese fünf- bis sechsfach über α hinaus, so trifft sie nahe auf den Polarstern. Eine Linie um den fünffachen Abstand von α und δ im Großen Bären über δ hinaus verlängert trifft sehr nahe auf den hellen Stern Arktur oder α im Sternbilde des Bootes. Dem Großen Bären entgegengesetzt, auf der anderen Seite des Polarsternes, fast aber ebensoweit vom Nordpole entfernt wie der Große Bär, steht das Sternbild der Kassiopeja, kenntlich durch fünf helle Sterne, welche fast ein lateinisches W bilden. Eine Gerade von γ über δ der Kassiopeja führt auf α im Perseus. Verbindet man α in der Kassiopeja und α im Perseus durch eine Gerade und verlängert diese um ihre eigene Größe über α im Perseus hinaus, so endigt sie nahe bei dem hellen Stern Kapella oder α im Sternbilde des Fuhrmanns. Wie man in analoger Weise fortfahren kann, ergibt jede Sternkarte.

Himmelsglobus. Ein vorzügliches Hilfsmittel, die Sternbilder kennen zu lernen und die Erscheinungen, welche der Sternhimmel infolge der täglichen Bewegung zeigt, zu demonstrieren, bietet der Himmelsglobus (Fig. 150). Es ist jedoch hierbei nicht zu vergessen, daß sich der Beobachter in den Mittelpunkt desselben versetzt denken muß, um die von dem Globus angegebenen Verhältnisse direkt mit dem Himmel vergleichen zu können.

Fig. 150.

Zunächst unterscheidet man beim Himmelsglobus den Nord- und Südpol P, P', um welche sich die Kugel dreht, den Äquator $A\ Q$ und die Liniensysteme, welche man zur Ortsbestimmung am Himmelsgewölbe gezogen denkt. Um die Erscheinungen des Auf- und Untergangs der Sterne darstellen zu können, besitzt der Himmelsglobus einen messingenen Ring $M\ M'$, der den Meridian vorstellt, sowie einen horizontalen Kreis, welcher ihn umgibt und den Horizont bildet. Der messingene Ring ist eingeteilt in je viermal 90 Grade derart, daß die Nullpunkte mit dem Äquator und die Punkte von 90° mit den Umdrehungspolen der Himmelskugel zusammenfallen. Der Horizont ist ebenfalls in 360 Grade eingeteilt, aber fortlaufend von 0° bis 360°, außerdem sind auf seiner breiten Fläche noch die 12 Zeichen des Tierkreises, die Längen der Sonne für alle Tage des Jahres ꝛc. aufgetragen.

Um die Himmelskugel für eine bestimmte geographische Breite einstellen zu können, ist sie mit dem messingenen Meridian derart beweglich, daß man ihrer Achse jede Neigung gegen den Horizont geben kann. Behufs Einstellung des Globus für einen beliebigen Ort erhebt man seinen Nordpol P um so viel Grade über den Rand des horizontalen Kreises, der die Kugel umgibt, als die geographische Breite des betreffenden Ortes beträgt. Um auch den Meridian der Himmelskugel in die Richtung des Meridians des Ortes zu bringen, dient die am Fuße des Globus angebrachte Magnetnadel. Diese Nadel spielt über einer Windrose, und man dreht das Gestell des Globus so lange, bis die Nordspitze der Nadel mit dem Nordstriche der Windrose zusammenfällt. Der Himmelsglobus ist dann näherungsweise nach den Weltgegenden orientiert.

Sobald die Himmelskugel richtig gestellt ist, sieht man bei ihrer Drehung sofort, welche Sterne über den Horizont des Ortes heraufkommen und welche nicht. Um auch die Zeit dieses Verweilens über dem Horizonte, überhaupt die Zeitpunkte gewisser Stellungen einfach ermitteln zu können, dient eine in der Verlängerung der Umdrehungsachse über dem Nordpol des Globus angebrachte Scheibe, der Stundenring T, welcher in 24 Stunden eingeteilt ist und auf dem ein Zeiger bei einer Drehung der Kugel um sich selbst gleichzeitig einen Umlauf macht. Wird ein Stern unter den Messingmeridian gebracht und der Zeiger auf 12 Uhr gestellt, und dreht man dann die Himmelskugel so lange, bis der Zeiger auf 1 Uhr, 2 Uhr ꝛc. steht, so hat man unmittelbar die Stellung des Sternes 1 Stunde, 2 Stunden ꝛc. Sternzeit nach seiner Kulmination. Gewöhnlich ist jeder Himmelskugel auch noch ein beweglicher Viertelkreis oder Gradbogen ZR beigegeben, den man an jedem Punkte des Meridians anschrauben kann. Befestigt man diesen mit seinem einen Ende am höchsten Punkte der Kugeln, welcher also das Zenith des Beobachters darstellt, und legt ihn dann an den Stern in seiner betreffenden Stellung 1, 2 ꝛc. Stunden nach dem Meridiandurchgange, so kann man sofort auf jenem Gradbogen die Zenithdistanz des Sternes zu den betreffenden Zeiten ablesen, und ebenso findet man sein Azimuth, indem man den Bogen auf dem Horizonte zwischen dem Südpunkte und dem Orte, wo der Gradbogen den Horizont trifft, abliest.

Mittels des orientierten Himmelsglobus lassen sich auf einfache Weise viele Aufgaben lösen, welche die Erscheinungen an der Himmelssphäre betreffen.

a. Man sucht den Ort des Horizonts, in welchem ein Stern aufgeht, und die Zeit, wie lange er sichtbar bleibt. Zu diesem Zwecke bringt man den Stern in den Meridian und stellt den Zeiger auf 12 Uhr. Darauf dreht man den Globus und bringt den Stern in den Horizont. Der Punkt, wo der Stern im Horizont steht, gibt unmittelbar die Himmelsgegend seines Aufganges oder Unterganges an, und die vom Zeiger durchlaufene Zahl von Stunden gibt die halbe Dauer des Verweilens des Sternes über dem Horizonte.

b. Man sucht den Ort des Auf- und Unterganges der Sonne und die Tagesdauer. Man markiert zu diesem Ende den Ort der Sonne in der Ekliptik für den bestimmten Tag, bringt diesen Punkt unter den Messingmeridian und verfährt im übrigen wie im vorhergehenden Beispiele.

c. Man sucht für eine bestimmte Nachtstunde die Stellung des Sternenhimmels gegen den Horizont. Zu diesem Ende sucht man den Ort der Sonne für den betreffenden Tag in der Ekliptik, bringt ihn oberhalb des Horizonts unter den Messingmeridian und stellt den Zeiger auf 12 Uhr. Diese Lage der Himmelskugel gibt dann die Stellung der Gestirne gegen den Horizont im Mittage des betreffenden Tages. Hierauf dreht man die Himmelskugel solange nach W fort, bis der Zeiger auf der betreffenden Abendstunde steht. Dies gibt die gesuchte Stellung des Sternenhimmels.

d. Man sucht den Tag, an welchem ein Fixstern zugleich mit der Sonne auf- oder untergeht. Man bringt den betreffenden Fixstern durch Drehung des Globus in den Ost- oder Westhorizont und bemerkt den Grad der Ekliptik, der zugleich an der nämlichen Seite ebenfalls im Horizonte liegt. Sucht man aus den astronomischen Ephemeriden den Tag, an welchem die Sonne in diesem Punkte der Ekliptik sich befindet, so ist dies gleichzeitig der Tag, an welchem der Fixstern zugleich mit der Sonne auf- oder untergeht.

e. Man sucht den Tag, an welchem ein Fixstern bei Sonnenuntergang aufgeht, oder an welchem er bei Sonnenaufgang untergeht. Man verfährt wie im vorigen Beispiele, nur sucht man jenen Punkt der Ekliptik, welcher auf der dem Sterne gegenüberliegenden Seite im Horizonte liegt.

f. Man sucht die Zeit, um wieviel ein Gestirn früher oder später auf- oder untergeht als ein anderes. Man führt beide Gestirne nacheinander in den West- oder Osthorizont und bemerkt den Unterschied der beiden Zeiten, auf welche der Zeiger für jedes der beiden Gestirne zeigte.

§. 109.

Erscheinungen des Mondlaufs.

Bei ihrem Laufe um die Sonne wird die Erde vom Monde begleitet, der sie in einer elliptischen Bahn umkreist. Derselbe bewegt sich unter den Sternen von W nach O und beschreibt am Himmel einen größten Kreis, der die Ekliptik in zwei Punkten schneidet, welche Mondknoten genannt werden. Die Zeit, welche der Mond gebraucht, um wieder zu demselben unbewegten Punkte des Sternenhimmels zurückzukehren, wird seine siderische Umlaufszeit genannt. Sie beträgt 27 Tage 7 Stunden 43 Minuten. Seine mittlere Entfernung von der Erde beträgt 51 800 Meilen oder etwa 60 Erdhalbmesser.

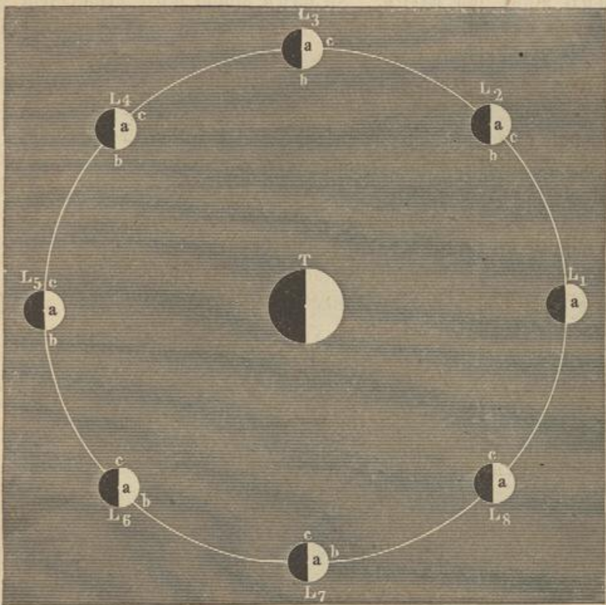
Phasen des Mondes. Der Mond zeigt uns eine regelmäßige Aufeinanderfolge von Lichtgestalten, welche Phasen genannt werden und die offenbar von seiner Stellung gegen die Sonne abhängen. Sobald er bei seiner Bewegung aus den Strahlen der Sonne hervorkommt, sieht man den Mond als äußerst schmale Sichel, die ihre erhabene Seite nach W, der Sonne zu, wendet. Je mehr der Mond sich von der Sonne entfernt, um so breiter wird die Sichel, bis endlich ein glänzender Vollkreis sichtbar ist, wenn er der Sonne gerade gegenübersteht. Indem sich der Mond nun abermals der Sonne nähert, nimmt der Vollkreis von W her nach und nach ab, bis endlich wieder eine schmale Sichel übrigbleibt, die zuletzt auch in den Strahlen der Sonne verschwindet.

Diese Aufeinanderfolge der Lichtgestalten entsteht dadurch, daß der Mond ein kugelförmiger, dunkler Körper ist, der die Erde umkreist und von der Sonne sein Licht empfängt.

Es sei, Fig. 151, T die Erde, welche von der rechten Seite her durch die Sonne erleuchtet wird. Befindet sich der Mond in L_1, also zwischen der Sonne und der Erde, so wendet er letzterer seine dunkle Seite zu. In dieser Stellung wird der Mond Neumond genannt und man sagt, er befindet sich mit der Sonne in Konjunktion. Bewegt sich der Mond nach L_2, so wird für uns ein Stück seiner erleuchteten Hälfte sichtbar, dessen Breite durch bc bezeichnet wird. Infolge der Kugelgestalt des Mondes zeigt sich uns dieses erleuchtete Stück als Sichel. In der Lage L_3 ist von der Erde aus der Bogen bc der erleuchteten Seite sichtbar. Die Mondkugel erscheint uns nun als erleuchtete halbkreisförmige Scheibe, deren Rundung nach W gekehrt ist. Man nennt diese Stellung das erste Viertel. Von hier aus nimmt über L_4 hinaus der erleuchtete Teil der Mondscheibe immer mehr zu bis zur Stellung L_5. In dieser steht der Mond, als Vollmond, der Sonne gerade gegenüber, er ist in Opposition, und wir sehen von seiner Nachtseite nichts. Von jetzt ab nimmt die voll erleuchtete Mondscheibe am Westrande wieder ab und ist in L_7 wiederum halb erleuchtet, jedoch so, daß die gewölbte Seite nach O gekehrt ist. Diese Stellung bezeichnet das letzte Viertel. In L_8 zeigt sich der Mond wieder als Sichel und in L_1 ist abermals Neumond. Die Zeit von einem Neumonde zum anderen nennt man die synodische Umlaufszeit des Mondes. Sie ist länger als die siderische, weil die Sonne ebenfalls eine nach O gerichtete Bewegung besitzt und der Mond daher etwas mehr als einen vollen Umlauf zurücklegen muß, um wiederum die Sonne zu erreichen. Die Dauer des synodischen Mondumlaufs beträgt 29 Tage 12 Stunden 44 Minuten.

Neu- und Vollmond werden Syzygien, erstes und letztes Viertel Quadraturen genannt. Die Zeit, welche seit dem letzten Neumonde verflossen ist, bezeichnet man als Alter des Mondes. Mit den Phasen hängt die Dauer des Mondscheins eng zusammen. Zur Zeit des Neumondes steht der Mond nahe bei der Sonne, kann also in der Nacht nicht gesehen werden. Beim ersten Viertel kulminiert der Mond nachmittags 6 Uhr und ist daher hauptsächlich in den Abendstunden sichtbar. Zur Zeit des Vollmondes kulminiert derselbe um Mitternacht und scheint somit die ganze Nacht hindurch. Beim letzten Viertel steht der Mond vormittags 6 Uhr im Meridian und ist daher in den Morgenstunden sichtbar.

Fig. 151.



Zur Zeit, wenn der Mond als schmale Sichel erscheint, erblickt man den dunkeln Teil seiner Scheibe in mattem grauem Schimmer (Fig. 152 a. f. S.). Dieser schwache Schimmer ist der Widerschein des Lichtes, welches die Erde dem Monde zusendet.

Der Mond wendet der Erde stets dieselbe Seite zu, er dreht sich also während jedes Umlaufs um die Erde einmal um seine Achse.

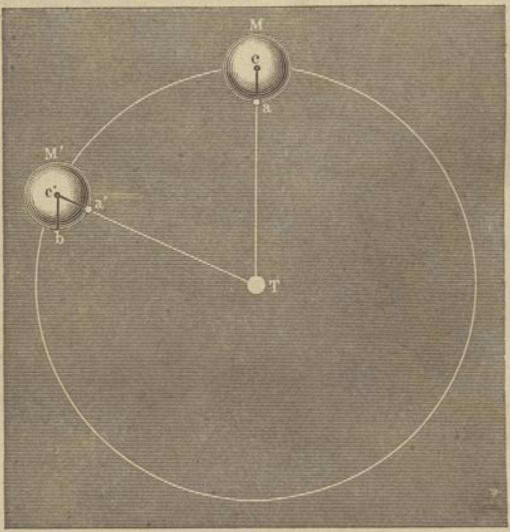
Sei, Fig. 153 a. f. S., T die Erde, M der Mond, so zeigt sich a mitten auf der Mondscheibe. Wenn der Mond in M' angekommen ist, erblickt man den Punkt a' noch immer auf der Mitte der Mondscheibe. Derselbe ist also um den

Winkel $bc'a'$ aus seiner früheren Lage gedreht worden. Nun ist Winkel $bc'a'$ = Winkel $a'Ta$, durch welchen sich der Mond in der Zwischenzeit um die Erde bewegte. Da a stets auf der Mitte der Mondscheibe verharrt, so bleiben die beiden Winkel offenbar stets einander gleich und durchlaufen in der gleichen Zeit alle Werte von 0 bis 360°, woraus die Richtigkeit des voranstehenden Satzes folgt.

Fig. 152.

Finsternisse. Die Erde ist ein undurchsichtiger Körper, der von der Sonne sein Licht empfängt. Infolgedessen muß sie auf der von der Sonne abgewendeten Seite Schatten werfen. Es sei, Fig. 154, S die Sonne, welche die Erde ab bescheint; infolgedessen muß letztere, da sie kleiner ist, einen kegelförmigen Schatten abd hinter sich werfen. In diesen Raum abd dringt kein Strahl

Fig. 153.

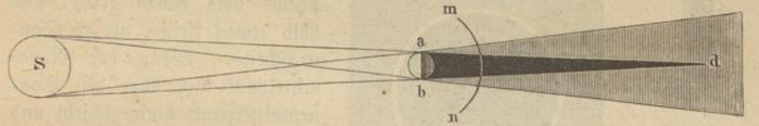


der Sonne und man nennt ihn **Kernschatten**. Derselbe ist vom **Halbschatten** umgeben, welcher alle diejenigen Punkte umfaßt, in welchen nur ein Teil der Sonne sichtbar ist. Die Achse des Schattens liegt in der Verlängerung der geraden Linie, welche die Mittelpunkte der Sonne und der Erde verbindet, also in der Ebene der Ekliptik. Die Länge des Kernschattens oder die Entfernung d vom Erdmittelpunkte beträgt über 200 Erdhalbmesser. Da der Mond nur 60 Erdhalbmesser vom Erdmittelpunkte entfernt ist, so wird er zu gewissen Zeiten in dem Teile mn seiner Bahn den Schattenkegel der Erde durchschneiden. Taucht dabei der Mond ganz in den Erdschatten, so entsteht eine **totale Mond**=

finsternis; taucht er nur zum Teil in denselben, so entsteht eine partiale Mondfinsternis.

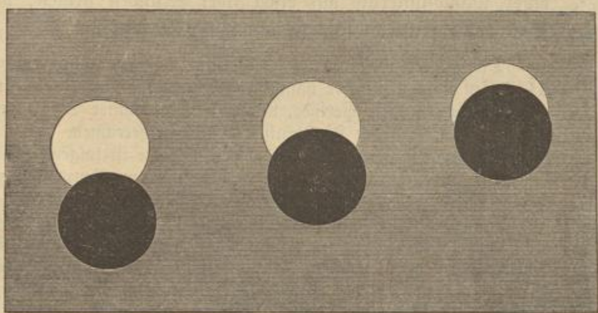
Weil der Erdschatten sich auf der der Sonne entgegengesetzten Seite befindet, so kann der Mond nur um die Zeit des Vollmondes in den Erdschatten treten. Allein nicht jeder Vollmond ist von einer Mondfinsternis begleitet, und zwar deshalb nicht, weil der Mond sich in einer Bahn bewegt, die einen Winkel mit der Ebene der Erdbahn macht. Nur wenn der Mond sich in einem seiner Knoten

Fig. 154.



befindet, steht er gleichzeitig in der Ekliptik. Wenn daher eine Mondfinsternis stattfindet, so geschieht dieses: 1) zur Zeit des Vollmondes und wenn 2) der Mond gleichzeitig in einem seiner Knoten steht. Der Erdschatten besitzt aber eine gewisse Breite, d. h. einen Durchmesser senkrecht zur Ebene der Erdbahn, er ragt über diese nördlich und südlich um etwa $1^1/_2$ Monddurchmesser hinaus. Der Mond kann daher schon in den Bereich des Schattens treten, ehe er die Ebene der Erdbahn erreicht, d. h. ehe er ganz genau in einem seiner Knotenpunkte steht. Von der Erde aus gesehen erscheint der Halbmesser des Erdschattens in

Fig. 156.



der mittleren Mondentfernung unter einem Winkel von ungefähr $^3/_4{}^0$. Wenn daher der Vollmond der Ebene der Erdbahn auf $^3/_4{}^0$ nahe gekommen ist, so beginnt er in den Erdschatten einzutreten.

Sonnenfinsternisse entstehen dadurch, daß die undurchsichtige Mondscheibe von Zeit zu Zeit wie ein Schirm zwischen die Sonne und den Beobachter tritt und dadurch erstere verdeckt. Dies kann natürlich nur zur Zeit des Neumondes stattfinden, wenn der Mond gleichzeitig ganz nahe bei der Ekliptik steht. Bezeichnet, Fig. 155, S die Sonne, L den Mond, T die Erde, so wird derjenige Teil der Erdoberfläche, welche von dem Kern- und Halbschatten des Mondes

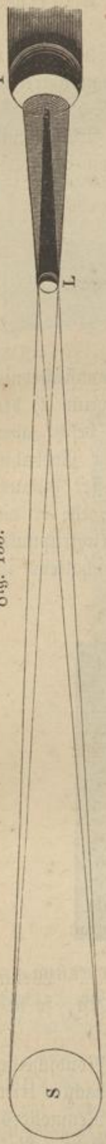


Fig. 155.

getroffen wird, eine Sonnenfinsternis sehen. Dieselbe ist total für alle Orte, welche vom Kernschatten des Mondes berührt werden; partial (Fig. 156 a. v. S.) für diejenigen, auf welche der Halbschatten trifft. Die Scheiben von Sonne und Mond erscheinen uns nahezu gleich groß. Da aber beide Gestirne sich periodisch in etwas veränderlichen Entfernungen von der Erde befinden, so erscheint die Mondscheibe bald etwas größer und bald etwas kleiner als die Sonnenscheibe. Wenn der Mondmittelpunkt sich über den Sonnenmittelpunkt hinwegschiebt und gleichzeitig die Mondscheibe kleiner als die Sonnenscheibe erscheint, so bleibt im Momente der Mitte der Finsternis von der Sonnenscheibe noch ein schmaler Ring sichtbar (Fig. 157). Es findet alsdann eine ringförmige Sonnenfinsternis statt.

Fig. 157.

Die Größe der Verfinsterung wird dadurch bezeichnet, daß man sich den Durchmesser des verfinsterten Gestirns in 12 gleiche Teile, Zolle genannt, geteilt denkt und angibt, wie viele dieser Zolle verfinstert werden. Die Dauer der Totalität kann bei einer Mondfinsternis auf etwa zwei Stunden steigen, bei einer Sonnenfinsternis umfaßt sie nur einige Minuten.

Die Finsternisse treten nach Verlauf von 18 Jahren und 10 bis 11 Tagen nahezu in der nämlichen Reihenfolge wieder ein, und die Alten benutzten diese Periode, welche die Babylonier Saros nannten, um das Eintreten der Finsternisse vorher zu berechnen.

Die Ursache jener achtzehnjährigen Periode ist folgende:

Die durchschnittliche Zwischenzeit von einem Neumonde zum anderen, der synodische Monat, beträgt 29 Tage $12\frac{3}{4}$ Stunden, so daß ein Sonnenjahr 12 synodische Monate + 11 Tage umfaßt. Es würde also, wenn sich die Lage der Mondbahn nicht änderte, eine Sonnenfinsternis in dem nächsten Jahre um 11 Tage früher wiederkehren. Nun drehen sich aber die Knoten der Mondbahn der Sonne entgegen, so daß diese kein volles Jahr gebraucht, um wieder beim nämlichen Knoten der Mondbahn anzugelangen, sondern bloß $346\frac{3}{5}$ Tage. Soll also nach Ablauf eines Vielfachen des synodischen Monats eine Finsternis wiederkehren, so muß dieses Vielfache auch gleichzeitig ein Vielfaches von $346\frac{3}{5}$ Tagen sein. Nun sind 223 synodische Monate $= 6585\frac{1}{5}$ Tage und 19mal $346\frac{3}{5}$ Tage $= 6585\frac{2}{5}$ Tage. Da ferner $6585\frac{1}{2}$ Tage genau 18 Jahre 11 Tage sind, so wiederholen sich also im allgemeinen die Finsternisse nach Ablauf dieser Zeit in derselben Reihenfolge.