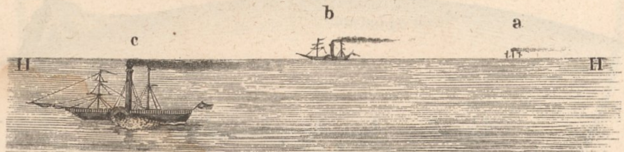
Zweites Capitel.

Gestalt, Größe und Axendrehung der Erde.

Krümmung der Erdoberfläche. Bisher haben wir die Erdober- 15
fläche als eine Ebene betrachtet, wie sie, die Unebenheiten der Gebirge abgerechnet, auf den ersten Anblick wohl auch erscheinen mag; eine aufmerksame Beobachtung der Meeresoberfläche zeigt uns aber schon, daß die Erdoberfläche gekrümmt sein muß.

Wenn man von einem etwas erhöhten Standpunkte, sei es von einem Thurm oder einem Berge am Ufer, oder von den Masten eines Schiffes aus, auf das offene Meer hinausschaut, so sieht man von einem hinlänglich entfernten Schiffe nur die Spitzen der Masten oder des Schornsteins, wie es bei *a*, Fig. 27, dargestellt ist. Wenn sich das Schiff dem Beobachter nähert, so

Fig. 27.



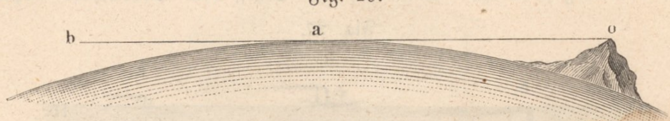
scheint es allmälig aus dem Wasser aufzutauchen, bis es endlich vollständig sichtbar wird und nun gerade auf der Gränzlinie *HH* zwischen Himmel und Meer zu ruhen scheint, wie bei *b*. Bei fortdauernder Annäherung scheint nun das Schiff auf der Meeresoberfläche von der Linie *HH* herabzusteigen, so daß es mehr und mehr, und wenn der Beobachter hoch genug steht, endlich ganz auf die Meeresfläche projicirt erscheint, wie bei *c*.

Auch auf Landseen von einiger Ausdehnung zeigt sich die eben besprochene Erscheinung; Fig. 28 stellt dieselbe dar, wie man sie auf dem Bodensee beobachtet, wenn man sich 10 bis 12 Fuß über dem Wasserspiegel, etwa auf dem Verdeck eines Dampfschiffes befindet. Um die fernen Schiffchen hinlänglich deutlich zu sehen, muß man jedoch ein, wenn auch schwach vergrößerndes Fernrohr anwenden.

Fig. 28.

Diese Erscheinung zeigt offenbar, daß die Meeresoberfläche gekrümmt sei. Denkt man sich von dem Auge des Beobachters eine gerade Linie nach irgend einem Punkte der Linie HH gezogen, welche Wasser und Himmel scheidet und welche Horizontlinie genannt wird, so ist diese Linie offenbar eine Tangente der krummen Meeresoberfläche, wie dies Fig. 29 erläutert, in welcher o

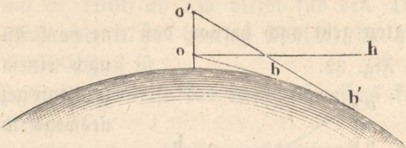
Fig. 29.



den Standpunkt des Beobachters, oab eine Gesichtslinie bezeichnet, welche die Meeresoberfläche in a streift.

Sieht der Beobachter nichts als Himmel und Meer, so begränzt die Scheidelinie zwischen beiden, also die rings um ihn herumlaufende Horizontlinie, welche die Gesammtheit aller Punkte enthält, in welchen die von dem Auge ausgehenden Gesichtslinien die Meeresoberfläche tangiren, eine Fläche, welche wir den Gesichtskreis nennen wollen. Je höher nun der Beobachter sich über den Spiegel des Meeres erhebt, desto mehr wächst, wie dies durch Fig. 30 erläutert wird, der von ihm übersehene Gesichtskreis, desto mehr

Fig. 30.



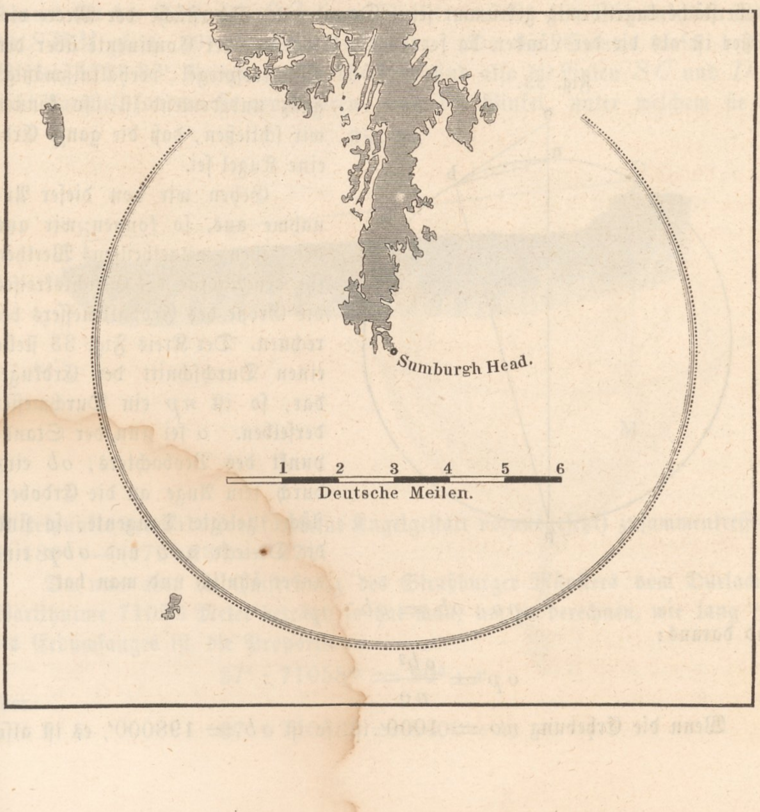
rückt die Horizontlinie von ihm weg. Der Halbmesser des Gesichtskreises ist ungefähr

19800', wenn sich der Beobachter					10'
62600	»	»	»	»	100
198000	»	»	»	»	1000
626400	»	»	»	»	10000

hoch über dem Spiegel des Meeres befindet.

Fig. 31 stellt den Erleuchtungskreis des 280 Pariser Fuß hohen Leuchtthurms von Sumburgh Head (der Südspitze von Mainland, der

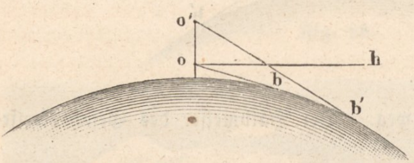
Fig. 31.



größten unter den shetländischen Inseln) dar, d. h. den Kreis, innerhalb dessen von dem Verdeck eines kleineren Schiffes das Feuer jenes Leuchtthurms sichtbar ist.

Aus dem Gesagten geht auch hervor, daß eine vom Auge des Beobachters nach einem Punkte der Horizontlinie gezogene Linie ob keineswegs mit der durch o gelegten wagerechten oh zusammenfällt, sondern daß die Visirlinie ob einen Winkel boh mit oh macht, welcher die Depression des Horizontes genannt wird. Die Depression des Horizontes wächst natürlich auch, wenn der Beobachter aufsteigt. Die Depression des Horizontes ist

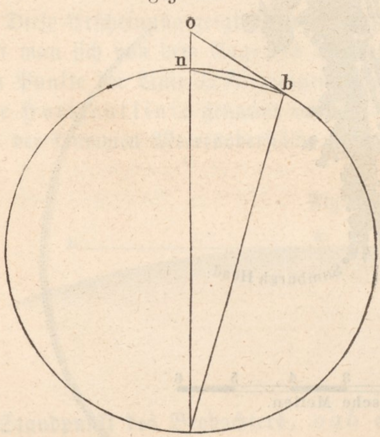
Fig. 32.



3,5′	für	eine	Erhebung	von	10′
11,0	»	»	»	»	100
34,7	»	»	»	»	1000
1⁰ 50,0	»	»	»	»	10000.

Alle diese Erscheinungen deuten nun darauf hin, daß wenigstens die Meeresoberfläche kugelförmig gekrümmt sei. Da aber die Oberfläche der Meere viel größer ist als die der Länder, da ferner die Erhebung der Continente über den Meeresspiegel verhältnißmäßig ganz unbedeutend ist, so können wir schließen, daß die ganze Erde eine Kugel sei.

Fig. 33.



Gehen wir von dieser Annahme aus, so können wir aus den eben mitgetheilten Werthen für den Radius des Gesichtskreises die Größe des Erdhalbmessers berechnen. Der Kreis Fig. 33 stelle einen Durchschnitt der Erdkugel dar, so ist np ein Durchmesser derselben. o sei nun der Standpunkt des Beobachters, ob eine durch sein Auge an die Erdoberfläche gelegte Tangente, so sind die Dreiecke nob und obp einander ähnlich und man hat

$$no : ob = ob : op$$

und daraus:

$$op = \frac{ob^2}{no}.$$

Wenn die Erhebung $no = 1000'$ ist, so ist $ob = 198000'$, es ist also

$$op = \frac{198000^2}{1000} = 39204000.$$

Ziehen wir davon $no = 1000$ ab, so bleibt für den Durchmesser der Erde $D = 39203000$ Fuß oder 1782 deutsche Meilen, da eine solche Meile in runder Zahl gleich 22000 Fuß ist.

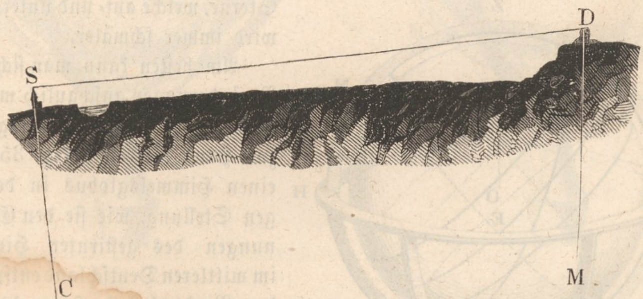
Eine solche Bestimmungsweise des Erddurchmessers kann natürlich keine genauen Resultate liefern.

Sehr gut lassen sich aus geodetischen Höhenmessungen sowohl die Krümmung der Erde nachweisen, als auch ihre Dimensionen annähernd berechnen.

Wenn man nämlich von zwei möglichst weit von einander entfernten Orten, die so gelegen sind, daß man von jedem aus den anderen sehen kann, den Winkel mißt, welchen an jedem dieser Orte die Verticale desselben mit der beide Orte verbindenden Visirlinie macht, so beträgt die Summe dieser Winkel nicht 180°, wie es sein müßte, wenn die Verticalen beider Orte parallel wären. Aus der Differenz dieser Winkelsumme von 180° läßt sich der Halbmesser der Erde berechnen, wenn die Entfernung beider Orte bekannt ist.

Ein Beispiel mag dies erläutern. Nach den vom Obristen Klose im Jahre 1833 mit einem achtzölligen Höhenkreise gemachten Messungen macht die Visirlinie SD vom Straßburger Münster nach dem Rande des Durlacher Wartthurms mit der Verticalen SC einen Winkel von 89° 48′, während der Winkel SDM gleich 89° 45′ gefunden wurde. Da die Summe dieser beiden Winkel, 179° 33′, kleiner ist als 180°, so sind also die Linien SC und DM nicht parallel, sondern sie convergiren, und der Winkel, unter welchem sie im

Fig. 34.



Mittelpunkte der Erde (vollkommene Kugelgestalt vorausgesetzt) zusammentreffen, ist 180° — (179° 23′) = 37′.

Da nun aber die Entfernung des Straßburger Münsters vom Durlacher Wartthurme 71058 Meter beträgt, so hat man, um zu berechnen, wie lang ¼ des Erdumfanges ist, die Proportion:

$$37' : 71058^{\mathrm{m}} = 90^0 : x$$

oder:

$$37' : 71058^{\mathrm{m}} = 5400' : x,$$

also:

$$x = 10\,370\,000 \text{ Meter.}$$

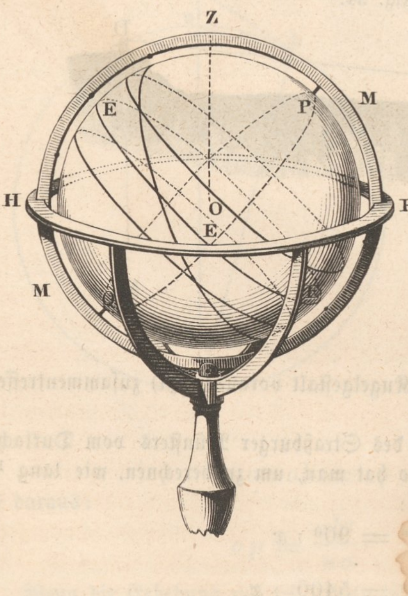
Demnach würde sich die Länge des Erdhalbmessers gleich 900 Meilen ergeben. Um ein genaueres Resultat zu erhalten, müßte man an den gemessenen Winkeln erst eine Correction wegen der atmosphärischen Strahlenbrechung anbringen, wovon aber hier noch nicht die Rede sein kann.

Weitere Beweise für die Kugelgestalt der Erde liefern die sogenannten Reisen um die Welt und die Gestalt des Erdschattens, wie man sie bei Mondfinsternissen zu beobachten Gelegenheit hat; am entschiedensten aber ergiebt sie sich, wenn man mit Aufmerksamkeit den Anblick des gestirnten Himmels in verschiedenen Gegenden vergleicht.

16 **Bestimmung der Kugelgestalt durch astronomische Beobachtungen.** Im vorigen Capitel wurde bereits angeführt, daß für das mittlere Deutschland die Weltaxe ungefähr einen Winkel von 50 Graden, und also die Ebene des Aequators einen Winkel von 40 Graden mit der Ebene des Horizontes mache. Das ändert sich nun, sobald man nach Norden oder nach Süden reist.

Je weiter man nach Norden geht, desto mehr steigt der Polarstern in die Höhe, während der Himmelsäquator sich in gleichem Maße gegen die Ebene des Horizontes senkt. Es nimmt also die Zahl der Sterne zu, welche nicht auf- und nicht untergehen; dagegen wird aber auch ein immer größerer Theil der südlichen Hälfte der Himmelskugel ganz unsichtbar, der Gürtel der Sterne, welche auf- und untergehen, wird immer schmäler.

Fig. 35.



Am besten kann man sich diese Veränderungen anschaulich machen, wenn man einen Himmelsglobus zur Hand nimmt. Fig. 35 zeigt einen Himmelsglobus in derjenigen Stellung, wie sie den Erscheinungen des gestirnten Himmels im mittleren Deutschland entspricht; der Nordpol des Himmels steht 50° über der Ebene des Horizontes, mit welcher der Himmelsäquator einen Winkel von 40° macht.

Soll der Himmelsglobus die Erscheinungen nördlicher gelegener Gegenden darstellen, so muß man den Messingring M so drehen, daß die Axe PQ sich mehr und mehr der Verticalen nähert. In der Stellung Fig. 36 z. B. zeigt der Himmelsglobus die Erscheinungen des gestirnten Himmels, wie sie ungefähr an den nördlichsten Gränzen Europas wahrgenommen werden. Die Zenithdistanz des Polarsterns beträgt keine 20° mehr, die Plejaden gehen nicht mehr auf und unter, sondern man sieht ihre obere und ihre untere Culmination. Sirius und Spica erheben sich am südlichen Himmel kaum noch über den Horizont, während Antares im Scorpion und Fomalhaut im südlichen Fisch gar nicht mehr sichtbar werden.

Könnte man vom Nordcap aus noch so weit nach Norden fortgehen, wie das Nordcap von Frankfurt am Main liegt, so würde man zu einem Punkte kommen, wo der Nordpol des Himmels im Zenith liegt und der Himmelsäquator in die Ebene des Horizontes fällt, wie es Fig. 37 darstellt. Hier ist nur noch die nördliche Hemisphäre des Himmels sichtbar. Alle sichtbaren

Fig. 36.

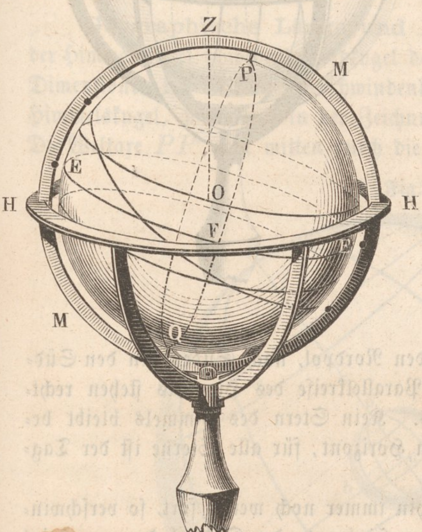
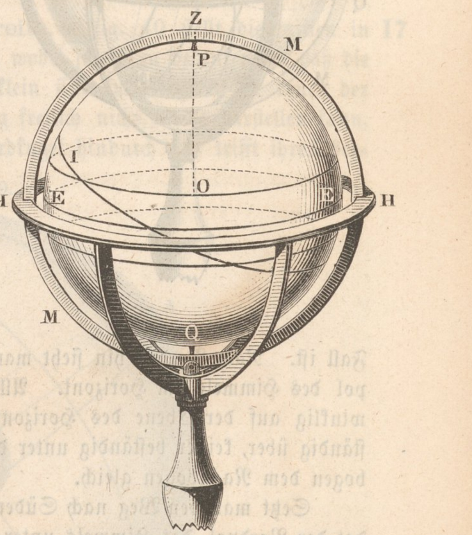


Fig. 37.



Sterne beschreiben während ihrer täglichen Bewegung Kreise, welche mit dem Horizont parallel sind, die Höhe eines Sternes bleibt also stets unverändert.

Verfolgen wir nun auch die Veränderungen, welche der gestirnte Himmel darbieten wird, wenn man vom mittleren Deutschland aus nach Süden geht. Der Nordpol des Himmels senkt sich immer mehr und immer kleiner wird der Kreis der Sterne, welche nicht auf- und nicht untergehen. Auf den Inseln des grünen Vorgebirges z. B. ist der Polarstern nur noch 15° über dem Horizont.

Das Sternbild des großen Bären gehört hier nicht mehr zu denen, welche stets über dem Horizont bleiben; dagegen bleibt auch nur ein kleiner Theil des südlichen Himmels unsichtbar, und das schöne Sternbild des Kreuzes glänzt am südlichen Himmel. Fig. 38 stellt ungefähr die Stellung der Himmelskugel gegen den Horizont dar, wie sie auf den Inseln des grünen Vorgebirges beobachtet wird.

Noch weiter nach Süden fortschreitend, gelangt man endlich an Orte, wo der Himmelsäquator im Zenith erscheint, Fig. 39, wie dies z. B. in Quito der

Fig. 38.

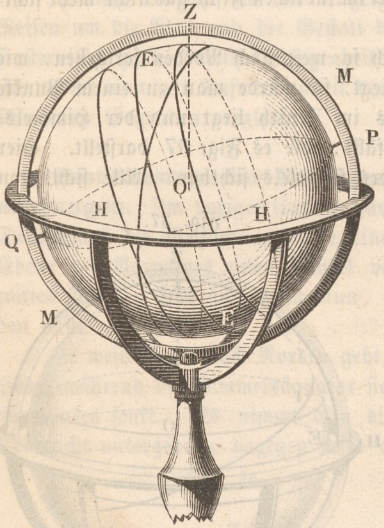
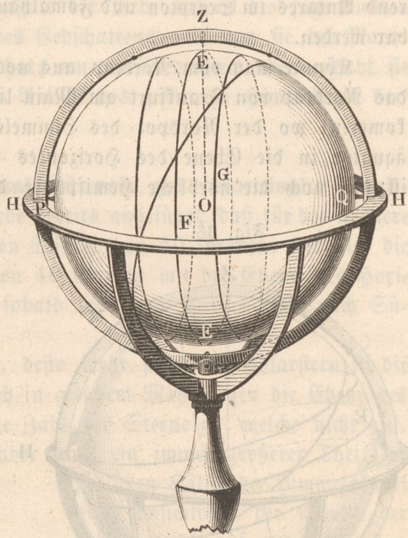


Fig. 39.



Fall ist. Nach Norden hin sieht man den Nordpol, nach Süden hin den Südpol des Himmels im Horizont. Alle Parallelkreise des Himmels stehen rechtwinklig auf der Ebene des Horizontes. Kein Stern des Himmels bleibt beständig über, keiner beständig unter dem Horizont, für alle Sterne ist der Tagbogen dem Nachtbogen gleich.

Setzt man den Weg nach Süden hin immer noch weiter fort, so verschwindet der Nordpol des Himmels unter dem Horizont, der Südpol dagegen steigt höher und höher.

Aus diesen eben besprochenen Erscheinungen geht hervor, daß die Erde in der Richtung von Norden nach Süden hin gekrümmt sein muß, und zwar ziemlich gleichförmig; denn für je 342000 Fuß, um welche man gerade nach Norden hin fortschreitet, erhebt sich der Polarstern ungefähr um 1° mehr über den Horizont.

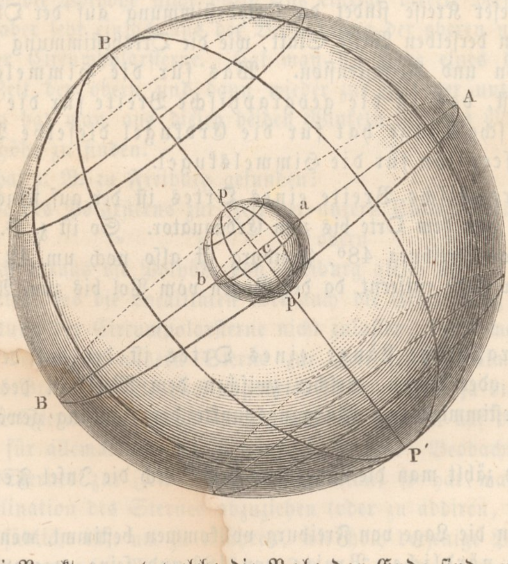
Ebenso ist aber auch die Erde in der Richtung von Ost nach West gekrümmt. Reist man gerade nach Westen hin, so ändert sich zwar der Anblick des gestirnten Himmels durchaus nicht; aber die Zeit des Auf- und Untergangs der Gestirne, die Zeit ihrer Culmination ist nicht dieselbe. In demselben Moment, in welchem die Sonne in London aufgeht, ist sie zu Berlin schon bald eine Stunde lang über dem Horizont; und die Zeit des Mittags von Quito fällt mit der Zeit der Mitternacht von Sumatra zusammen.

Von der Richtigkeit dieser Behauptung kann sich jeder Reisende mit Hülfe einer guten Uhr überzeugen. Nehmen wir an, die Uhr sei nach Berliner Zeit gerichtet, d. h. sie gehe so, daß sie für Berlin stets die richtige Zeit angiebt, so wird diese Uhr, wenn man dieselbe, ohne sie zu verstellen, an westlicher gelegene Orte bringt, stets vor der Uhr dieser Orte vorgehen, und zwar um so mehr, je weiter man nach Westen fortschreitet. Die nach Berliner Zeit gehende Uhr geht in London nahezu eine, in Newyork $5^1/_2$ Stunden vor.

Fassen wir dies Alles zusammen, so ergiebt sich, daß die Erde überall in gleicher Weise von Nord nach Süd und von Ost nach West gekrümmt, kurz, daß sie eine Kugel ist, und zwar muß diese Kugel frei im Weltraume schweben, weil es keine Stelle des Himmels giebt, die nicht von den entsprechenden Orten der Erde aus frei sichtbar wäre.

Geographische Länge und Breite. Fig. 40 stellt die mitten in 17
der Himmelskugel schwebende Erdkugel dar, wobei jedoch zu bedenken ist, daß die Dimensionen der Erdkugel verschwindend klein sind im Vergleich zu denen der Himmelskugel, was man in der Zeichnung freilich nicht richtig darstellen kann. Die Weltaxe PP' geht mitten durch die Erdkugel hindurch und trifft ihre Ober-

Fig. 40.



fläche in zwei Punkten pp', welche die Pole der Erde sind; p ist der Nordpol, p' ist der Südpol der Erde.

Die Ebene des Himmelsäquators schneidet die Erde in einem Kreise abc, welcher der Aequator der Erde ist.

Denken wir uns an irgend eine Stelle der Erdoberfläche eine Berührungsebene gelegt, so ist dies der scheinbare Horizont, d. h. der Horizont, welcher dem auf der Erdoberfläche befindlichen Beobachter in der That die sichtbare Hälfte der Himmelskugel begränzt. Es ist klar, daß ein auf dem Nordpol der Erde stehender Beobachter den Nordpol des Himmels im Zenith hat, daß dagegen für einen auf dem Erdäquator stehenden Beobachter ein Punkt des Himmelsäquators das Zenith bildet, kurz, daß bei Veränderung des Standpunktes auf der Erde der Anblick des Himmels sich in der Weise ändern müsse, wie wir es im vorigen Paragraphen gesehen haben.

Eine parallel mit dem scheinbaren Horizont durch den Mittelpunkt der Erde gelegte Ebene ist der wahre Horizont. Der Abstand des wahren Horizontes vom scheinbaren ist so klein im Vergleich zu den Dimensionen des Himmelsgewölbes, daß der Anblick des gestirnten Himmels für den auf der Oberfläche der Erde befindlichen Beobachter derselbe ist, als ob er sich im Mittelpunkte des wahren Horizontes befände.

Den Stundenkreisen und Parallelkreisen auf der Himmelskugel entsprechend denkt man sich auch auf der Erdkugel ein System von Kreisen gezogen. — Diejenigen größten Kreise, welche durch die beiden Pole p und p' der Erde gehen, welche also den Stundenkreisen der Himmelskugel entsprechen, werden Längenkreise, Meridiankreise oder nur Meridiane genannt. Die mit dem Aequator parallelen Kreise heißen Parallelkreise oder Breitekreise.

Mittelst dieser Kreise findet die Ortsbestimmung auf der Oberfläche der Erdkugel ganz in derselben Weise Statt, wie die Ortsbestimmung am Himmel, durch Declination und Rectascension. Was für die Himmelskugel die Declination ist, das ist die geographische Breite für die Erdkugel; die geographische Länge hat für die Erdkugel dieselbe Bedeutung wie die Rectascension für die Himmelskugel.

Die geographische Breite eines Ortes ist der auf seinem Meridian gemessene Bogen von dem Orte bis zum Erdäquator. So ist z. B. die geographische Breite von Freiburg 48°, Freiburg ist also noch um 42 Breitegrade vom Nordpol der Erde entfernt, da der Bogen vom Pol bis zum Aequator 90° beträgt.

Die geographische Länge eines Ortes ist der auf dem Aequator gezählte Winkel oder Bogen, welcher zwischen dem Meridian des Ortes und irgend einem bestimmten zum Ausgangspunkte der Zählung gewählten Meridian liegt.

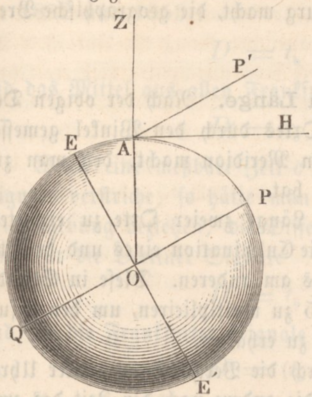
Gewöhnlich zählt man die Länge von dem durch die Insel Ferro gelegten Meridian.

So ist denn die Lage von Freiburg vollkommen bestimmt, wenn man sagt, es liege in einer nördlichen Breite von 48° und seine geographische Länge sei (ungefähr) 25½° östlich von Ferro.

Die Engländer nehmen den Meridian von Greenwich, die Franzosen von Paris zum Ausgangspunkte für die Zählung der geographischen Breite.

Bestimmung der geographischen Breite eines Ortes. Fig. 41 18
stelle die Erdkugel dar. PQ sei die Erdaxe, EE' der zur Linie verkürzt erscheinende Erdäquator; es sei ferner A irgend ein Ort auf der Erdoberfläche, so ist der Bogen EA die geographische Breite desselben. Denken wir uns nun von A aus eine gerade Linie AP' parallel mit der Erdaxe gezogen, so trifft die Verlängerung dieser Linie gerade den Himmelspol (da ja die Dimensionen der Erde verschwindend klein sind gegen die des Himmelsraumes). Der Winkel aber, welchen AP' mit AH, der Ebene des Horizontes von A, macht, ist aber offenbar gleich dem Winkel EOA, oder mit anderen Worten: die geographische Breite eines Ortes ist seiner Polhöhe gleich.

Fig. 41.



Um die geographische Breite eines Ortes zu ermitteln, hat man also nur zu messen, um wie viel Grade der an diesem Orte sichtbare Himmelspol über der Ebene des Horizontes steht.

Da aber der Himmelspol nicht durch einen bestimmten Stern bezeichnet ist, so kann man die Polhöhe nicht durch eine einzige directe Messung finden; sie ergiebt sich aber sehr einfach aus der Beobachtung der oberen und unteren Culmination der Circumpolarsterne. Hat man die Höhe eines der Circumpolarsterne zur Zeit der obern und dann wieder zur Zeit der untern Culmination gemessen, so hat man aus diesen beiden Winkeln nur das Mittel zu nehmen, um die Polhöhe zu finden.

Man hat z. B. zu Freiburg gefunden:

Höhe des Polarsterns zur Zeit der untern Culmination	46^0	$32'$
» » » » » » obern »	49	28,

so ergiebt sich daraus die Polhöhe von Freiburg gleich 48^0.

An Orten, wo die Localitäten oder auch die Einrichtung der Instrumente die Beobachtung der Circumpolarsterne nicht zulassen, kann man auch aus der Höhe eines beliebigen andern Sterns zur Zeit seiner Culmination auf die geographische Breite des Beobachtungsortes schließen, da ja die Declination aller helleren Sterne wenigstens durch genaue Messungen auf den ersten Sternwarten ein- für allemal bekannt ist (Cap. I, §. 12). Beobachtet man nun die Höhe eines Sternes zur Zeit seiner Culmination, so hat man von derselben nur die Declination des Sternes abzuziehen (oder zu addiren, wenn die Declination eine südliche ist), um zu erfahren, wie hoch derjenige Punkt des Aequators, welcher gerade im Meridian sich befindet, über dem Horizont liegt, oder mit anderen Worten, welchen Winkel der Himmelsäquator mit dem Horizont macht. Dieser Winkel ist aber gleich der Zenithdistanz des Himmelspols und ergänzt also die Polhöhe (also auch die geographische Breite) zu 90^0.

Man hat z. B. zu Freiburg die Höhe des Procyon (α canis minoris), dessen Declination 5° 38′ ist, zur Zeit seiner Culmination gleich 47° 38′ gefunden, und daraus ergiebt sich 42° als Werth des Winkels, welchen der Himmelsäquator mit dem Horizont von Freiburg macht, die geographische Breite von Freiburg ist also 48°.

19 **Bestimmung der geographischen Länge.** Nach der obigen Definition wird die geographische Länge eines Ortes durch den Winkel gemessen, welchen der Meridian desselben mit demjenigen Meridian macht, den man zum Nullpunkte der geographischen Länge gewählt hat.

Um den Unterschied der geographischen Länge zweier Orte zu ermitteln, muß man bestimmen, um wie viel Stunden die Culmination eines und desselben Sternes an dem einen Orte später eintritt als am anderen. Diese in Stunden ausgedrückte Zeitdifferenz hat man nur mit 15 zu multipliciren, um den gesuchten Längenunterschied in Graden ausgedrückt zu erhalten.

Diese Zeitdifferenz erhält man aber durch die Vergleichung zweier Uhren, von denen die eine nach der Zeit des ersten, die andere nach der Zeit des zweiten Ortes regulirt ist. Eine solche Vergleichung kann man aber nach verschiedenen Methoden ausführen.

Sind die beiden Orte, deren Längenunterschied man ermitteln will, nicht gar zu weit von einander entfernt, so wählt man zwischen beiden Stationen einen Punkt, etwa eine Bergspitze, einen Thurm u. s. w., welcher von beiden Orten aus zugleich gesehen werden kann, auf welchem dann ein vorher verabredetes Signal, etwa durch Anzünden einer kleinen Menge Pulver, gegeben wird. Die Beobachter an den beiden Stationen, welche den Gang ihrer Uhren nach der Culmination eines und desselben Sternes regulirt haben, notiren die Zeit, in welcher sie das Signal wahrnehmen, und aus der Vergleichung der notirten Zeitmomente ergiebt sich dann der verlangte Zeit- und Längenunterschied.

Wenn die beiden Orte durch einen elektrischen Telegraphen mit einander verbunden sind, so kann man sich desselben zur Bestimmung der Längenunterschiede bedienen, da die Geschwindigkeit des galvanischen Stromes so groß ist, daß man die Fortpflanzung des Signals von der einen Station zur andern als momentan betrachten darf. Der Beobachter der einen Station notirt sich die Uhrzeit, in welcher er das elektrische Signal absendet, der andere beobachtet die Uhrzeit, in welcher er es wahrnimmt. Die Differenz dieser Uhrzeiten giebt den Längenunterschied. Dies Verfahren giebt sehr genaue Resultate und ist mit Erfolg in den vereinigten Staaten von Nordamerika in Anwendung gebracht worden.

Nach dieser Methode wurden auch am 13. und am 29. August 1852 Morgens zwischen 6 und 7 Uhr Versuche zur Bestimmung des Längenunterschiedes von Frankfurt a. M. und Berlin gemacht. Das Signal bestand in einem einfachen Drucke auf den Schlüssel des Telegraphen und wurde an dem andern Ende der Telegraphenlinie als ein einfaches Knacken von nicht meßbarer Dauer gehört. Bezeichnen wir mit t_b die Berliner Zeit für den Moment eines solchen Signals, mit t_f die gleichzeitige Frankfurter Zeit, so ergab sich für den fraglichen Längenunterschied beider Orte im Durchschnitt aus allen zu Berlin gegebenen Signalen (Jahresbericht des physikalischen Vereins zu Frankfurt a. M. für 1852 und 1853):

$$D = t_b - t_f = 18' \, 51{,}89'',$$

und das Mittel aus allen Frankfurter Signalen

$$D' = t_b - t_f = 18' \, 51{,}77''.$$

Wenn eine meßbare Zeit c zwischen der Abgabe und der Ankunft eines Signals verstriche, so hätte man, wenn sich t_b und t_f auf die Momente der Zeichengebung beziehen, die Differenz der Uhrzeiten des Abgangs und der Ankunft für die Berliner Signale

$$D = t_b - (t_f + c)$$

und für die Frankfurter Signale

$$D' = (t_b + c) - t_f.$$

Es müßte also die Differenz D' für die Frankfurter Signale größer sein als die entsprechende Differenz D für die Berliner Signale. Da dies nun nicht der Fall ist, so liefern diese Versuche zugleich den Beweis, daß die Zeit, in welcher sich der galvanische Strom von Berlin nach Frankfurt fortpflanzt, in der That verschwindend klein ist.

Solche Signale sind aber nicht mehr anwendbar, wenn die beiden Orte zu weit von einander entfernt und durch Meere getrennt sind. Statt der irdischen Signale muß man alsdann himmlische anwenden, d. h. man beobachtet den Moment, in welchem gewisse Erscheinungen am Himmel, die wir später noch besprechen werden, wie Sternbedeckungen, Verfinsterung von Jupiterstrabanten u. s. w. eintreten. Den Zeitpunkt, in welchem diese Erscheinungen an irgend einer der Hauptsternwarten eintreten müssen, erfährt man aus den astronomischen Jahrbüchern, welche von den Astronomen der wichtigsten Observatorien herausgegeben werden und welche die für einige Jahre schon vorausberechneten Momente dieser Erscheinungen enthalten.

So enthält z. B. das Berliner astronomische Jahrbuch für 1853 die Angabe, daß am 20. Mai dieses Jahres eine Bedeckung des Sternes $\varkappa$ virginis durch den Mond stattfinde, und zwar müßte der Stern für Berlin um 13^h $16{,}4'$ am östlichen Mondrande eintreten. Lorey beobachtete den Eintritt dieses Sternes zu Frankfurt a. M. an demselben Tage um 12^h $56{,}2'$; demnach betrüge der Längenunterschied zwischen Berlin und Frankfurt $20'$ $12''$. An diesem Resultate sind aber noch Correctionen anzubringen, welche hier nicht besprochen werden können.

Am einfachsten ergeben sich die Längendifferenzen durch Anwendung guter, gleichförmig gehender Chronometer, welche man von dem einen Orte an den andern mit hinnimmt. Diese Methode wird vorzugsweise zur Längenbestimmung auf der See angewendet. Diese Chronometer werden für den Meridian irgend einer bedeutenden Sternwarte, z. B. den von Greenwich, regulirt, sie geben also für jeden Augenblick die Greenwicher Zeit an; man hat also nur die Zeit des Ortes, an welchem man sich befindet, mit der des Chronometers zu vergleichen, um daraus die Längendifferenz abzuleiten.

Eine nach dieser Methode gemachte Längenbestimmung wird natürlich um so genauer ausfallen, je regelmäßiger und genauer der Gang der Uhr ist. Wo es auf sehr große Genauigkeit ankommt, wendet man gleichzeitig mehrere Chronometer an und nimmt das Mittel aus allen einzelnen Bestimmungen; so wurde im Jahre 1824 die Länge von Altona, Helgoland und Bremen in Beziehung auf die Sternwarte von Greenwich durch 35 Chronometer, mit welchen man sechsmal die Reise über das Meer machte, und im Jahre 1843 wurde in gleicher Weise der Längenunterschied der Sternwarte von Pulkawa bei Petersburg und der von Greenwich mit Hülfe von 68 vorzüglichen Chronometern bestimmt.

Wie man die Zeit des Beobachtungsortes selbst ermittelt, werden wir später sehen.

Die folgende Tabelle enthält die Länge und Breite einiger Hauptsternwarten.

Namen des Ortes.	Geographische Breite. + nördlich. — südlich.			Länge von Berlin in Zeit. + westlich. — östlich.			Oestliche Länge von Ferro in Bogen.		
Berlin	+ 52°	30′	16,7″	+ 0h	0′	0″	31°	3′	30,0″
Bonn	+ 50	44	9,1	+ 0	25	8,5	24	46	22,5
Greenwich . . .	+ 51	28	38,2	+ 0	53	35,5	17	39	37,5
Kasan	+ 55	47	23,0	— 2	22	57,0	66	47	45,0
Königsberg . .	+ 54	42	50,4	— 0	28	25,0	38	9	45,0
Madras	+ 13	4	9,2	— 4	27	28,3	97	55	34,5
München . . .	+ 48	8	45,0	+ 0	7	9,0	29	16	15,0
Paramatta . . .	— 33	48	49,8	— 9	10	30,8	168	41	12,0
Pulkawa	+ 59	46	18,6	— 1	7	43,0	47	59	15,0
Vorgeb. d. g. Hoff.	— 33	56	3,0	— 0	20	19,5	36	8	22,5
Washington . .	+ 38	53	32,8	+ 6	1	40,1	300	38	28,5
Wien	+ 48	12	35,5	— 0	11	56,4	34	2	36,0

20 **Abplattung der Erde.** Wenn die Erde eine vollständige Kugel wäre, so müßte die Entfernung zweier auf demselben Meridian liegender Punkte, von denen der eine genau 1° nördlicher liegt als der andere, für alle Theile des Meridians genau dieselbe sein; der Bogen vom Aequator bis zu 1° nördlicher Breite müßte also genau so lang sein wie der Bogen vom 89sten Breitegrade bis zum Pol.

Dies ist nun in der That nicht der Fall. Genaue Gradmessungen, welche in verschiedenen Gegenden der Erde vorgenommen wurden, haben gezeigt, daß die Länge eines Breitegrades mit der Entfernung vom Aequator zunimmt, wie man aus folgender Tabelle ersieht.

Namen des Landes.	Mittlere Breite.	Länge eines Breitegrades.
Peru	1° 31′	56736,8 Toisen
Indien	12 32	56762,3 »
Frankreich	46 8	57024,6 »
England	52 2	57066,1 »
Lappland	66 20	57196,2 »

Die Meridiane sind also in der Nähe des Aequators stärker gekrümmt als an den Polen, der Aequatorialdurchmesser der Erde ist also größer als der Polardurchmesser, oder mit anderen Worten, die Erde ist an den Polen abgeplattet.

Die geodätischen Operationen, durch welche dergleichen Gradmessungen ausgeführt werden, können hier nicht den Gegenstand weiterer Besprechung bilden.

Newton hatte die Abplattung der Erde aus theoretischen Gründen abgeleitet; allein es fehlte an genauen Gradmessungen, welche Newton's Behauptung hätten bestätigen können, bis die französische Akademie der Wissenschaften gegen die Mitte des vorigen Jahrhunderts eine wissenschaftliche Expedition nach Peru und eine andere nach Lappland veranlaßte, um daselbst genaue Gradmessungen anzustellen. Die Gradmessung in Peru wurde von Bouguer und Condamine, die in Lappland wurde von Maupertuis, Clairaut und Outhier ausgeführt. Die Resultate dieser Messungen setzten die Abplattung der Erde außer Zweifel.

Als gegen Ende des vorigen Jahrhunderts der Nationalconvent in Frankreich ein neues Maß- und Gewichtssystem einführen wollte, entschied man sich dahin, daß die neue Längeneinheit in einem einfachen Verhältnisse zur Länge eines Erdmeridians stehen sollte, und verordnete deshalb, daß eine neue möglichst genaue Gradmessung ausgeführt werden sollte, mit welcher Delambre und Mechain beauftragt wurden. Sie führten die Messung des Meridianbogens von Dünkirchen bis Barcelona aus. Später ist auf demselben Meridian noch der Bogen von Barcelona bis Formentera (durch Biot und Arago) und von Dünkirchen bis Greenwich gemessen worden. Auch diese Messungen haben gezeigt, daß in der That die Länge eines Breitegrades nach Norden hin zunimmt. Zwischen Formentera und Montjouy ist die Länge eines Breitegrades 56955,4 Toisen, zwischen Dünkirchen und Greenwich ist sie 57097,6 Toisen.

Nachdem Delambre und Mechain ihre Messung beendigt hatten, wurde eine Commission von Gelehrten ernannt, um auf dieselbe das neue Maßsystem zu gründen. Die Commission combinirte diese in Frankreich ausgeführte Gradmessung mit den früher in Peru und Lappland erhaltenen Resultaten und folgerte daraus, daß der Erdmeridian eine Ellipse sei, deren Abplattung $^1/_{292}$ betrüge und deren vierter Theil (der Bogen vom Aequator bis zum Pol) 5 130 074 Toisen lang sei. Der zehnmillionste Theil des Erdmeridianquadranten wurde als Einheit des Längenmaßes angenommen und Meter genannt.

Das Meter wurde also zu 0,513 074 Toisen oder zu 3′ 11,296 Pariser Linien festgesetzt.

Seitdem hat man durch Discussion der älteren und neueren Gradmessungen, welche in verschiedenen Gegenden der Erde ausgeführt worden waren, gefunden, daß die Abplattung der Erde größer sei, als die französischen Gelehrten angenommen hatten, daß sie $^1/_{299}$ betrage. Diese Modification im Werthe der Abplattung zieht eine entsprechende Aenderung in der Länge des Meridianquadranten nach sich, welcher in der That nicht 10 Millionen Meter, sondern 10 000 856 Meter lang ist.

Die halbe große Axe der Meridianellipse, also der Radius des Aequators, hat den erwähnten Messungen zufolge eine Länge von 6 377 398 Metern, die halbe kleine Achse dieser Ellipse aber, also die halbe Entfernung der beiden Erdpole beträgt 6 356 080 Meter. Der Unterschied zwischen beiden Halbmessern beträgt also 21 318 Meter.

Da 15 geographische oder deutsche Meilen auf einen Grad des Aequators gehen, so ist also der Umfang des Aequators 5400, der Aequatorialhalbmesser aber 860 deutsche Meilen. Der Polarhalbmesser ist ungefähr um 3 deutsche Meilen kleiner, als der Radius des Aequators.

Um sich eine deutliche Vorstellung von der Abplattung der Erde zu machen, denke man sich ein Umdrehungsellipsoid, dessen Aequatorialdurchmesser 1 Meter beträgt; es würde der Polardurchmesser, also die Umdrehungsaxe, ungefähr um 3 Millimeter kürzer sein müssen, wenn dieser Körper dem Erdellipsoid ähnlich sein sollte. Man begreift wohl, daß eine solche Abplattung dem bloßen Auge ganz unmerklich ist und daß genaue Messungen nöthig sind, um sie nachzuweisen.

Bedenkt man, daß der höchste Gipfel des Dhawalagiri nur 7820 Meter über der Meeresfläche liegt und daß der Chimborazo nur 6530 Meter hoch ist, so sieht man leicht, daß die Erhebungen der mächtigsten Gebirge kaum in Betracht kommen können im Vergleich zu den Dimensionen der Erde. Auf einem Erdglobus von 1 Meter Durchmesser dürften die Gebirgszüge des Himalaya in Asien und der Andes von Südamerika noch nicht die Höhe von 1 Millimeter erreichen, wenn das richtige Größenverhältniß eingehalten werden sollte.

21 **Axendrehung der Erde.** Im vorigen Capitel haben wir die tägliche Bewegung der Himmelskugel sammt allen Gestirnen kennen gelernt, und es ist nun die Frage, wie diese Erscheinung zu erklären sei. Auf den ersten

Anblick scheint es am einfachsten, dem unmittelbaren Eindrucke sich hingebend, diese scheinbare Bewegung für eine wirkliche zu nehmen, d. h. also anzunehmen, daß die Erde feststehe und daß sich das ganze Himmelsgewölbe sammt allen Gestirnen in je 24 Stunden wirklich um die Weltaxe, und zwar in der Richtung von Ost nach West umdrehe.

Diese Ansicht war im Alterthume und durch das ganze Mittelalter hindurch wirklich die herrschende. In dem Maße aber, als sich die astronomischen Kenntnisse erweiterten, wurde die Hypothese einer wirklichen täglichen Umdrehung der Himmelskugel mehr und mehr unwahrscheinlich und mußte endlich der Lehre von der Axendrehung der Erde weichen.

In der That lassen sich alle Erscheinungen der täglichen Bewegung der Gestirne auch durch die Hypothese vollkommen erklären, daß sich die Erde in 24 Stunden in der Richtung von West nach Ost, also der scheinbaren Bewegung des gestirnten Himmels entgegen, um ihre Axe dreht.

Untersuchen wir nun, welche Gründe gegen die wirkliche Rotation des Himmels und für die Axendrehung der Erde sprechen.

Die Dimensionen der Erde sind verschwindend klein gegen die Entfernung der Gestirne von uns; wenn sie also wirklich in 24 Stunden alle um die Erde herumlaufen sollten, so müßte die Geschwindigkeit dieser Bewegung eine ganz enorme sein.

Eine so große Geschwindigkeit ist an und für sich wenig wahrscheinlich, die Unwahrscheinlichkeit wurde aber noch auffallender, nachdem man zu der Ueberzeugung gekommen war, daß es keineswegs ein festes Himmelsgewölbe gebe, an welchem alle Gestirne gleichsam befestigt sind, daß keineswegs alle Sterne gleich weit von uns entfernt, daß wenigstens der Mond, die Sonne und die Planeten uns weit näher sind als die Fixsterne; denn nun hätte man, um die Erscheinungen der täglichen Bewegung ohne die Axendrehung der Erde zu erklären, annehmen müssen, daß die Gestirne in demselben Maße schneller in ihren täglichen Bahnen fortlaufen, in welchem sie weiter entfernt sind.

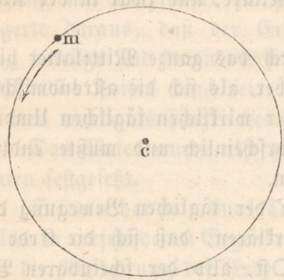
Die Unwahrscheinlichkeit einer solchen Annahme stieg bis zur Absurdität, nachdem man zu richtigen Vorstellungen über die Größe und Entfernung der Gestirne gekommen war. Das Volumen der Sonne ist fast $1\frac{1}{2}$ Millionen Mal größer, als das der Erde, und eine solche Masse sollte in 24 Stunden einen Kreis durchlaufen, dessen Halbmesser 20 Millionen Meilen ist, während die winzige Erde sich nicht einmal um ihre Axe dreht!?

Selbst wenn wir der Fixsterne, welche noch unendlich weiter entfernt sind als die Sonne, gar nicht gedenken, müßten solche Betrachtungen allein schon genügen, die Hypothese von einer wirklichen täglichen Bewegung der Gestirne zu beseitigen, während sich für die Axendrehung der Erde noch weitere Beweise beibringen lassen, die wir sogleich näher betrachten wollen.

Wenn sich die Erde wirklich um ihre Axe dreht, so muß sich die Schwungkraft auf ihrer Oberfläche geltend machen, und zwar muß sie um so bedeutender werden, je mehr man sich dem Aequator nähert.

Ein Körper m, welcher den Punkt c umkreist (Fig. 42), äußert fortwährend ein Streben, sich von diesem Mittelpunkte zu entfernen, und zwar ist der Weg p, um welchen sich m in einer Secunde von c entfernen würde, wenn andere Kräfte es nicht hinderten und ihn in der Kreisbahn zurückhielten, gleich $\frac{2\pi^2 r}{t^2}$, wenn r den Halbmesser der Kreisbahn, t die Umlaufszeit in Secunden und π das Peripherieverhältniß 3,14 bezeichnet. Da $2\pi r$ gleich ist dem Umfang des Kreises, den wir mit u bezeichnen wollen, so ist auch

Fig. 42.



$$p = \frac{3{,}14 \, . \, u}{t^2}.$$

Der Umfang u des Kreises, welchen ein auf dem Erdäquator befindlicher Körper bei jeder vollen Umdrehung der Erde um ihre Axe zurückzulegen hat, ist nahezu gleich 40 000 000 Meter, die Umlaufszeit t = 24 Stunden = 98 400 Secunden, und also

$$p = \frac{3{,}14 \, . \, 40\,000\,000}{98\,400^2} = 0{,}017 \text{ Meter},$$

d. h. wenn sich die Erde in 24 Stunden wirklich um ihre Axe dreht, so muß die dadurch entstehende Schwungkraft so groß sein, daß ein auf dem Erdäquator befindlicher Körper sich in einer Secunde um 0,017 Meter von dem Erdmittelpunkte entfernen würde, wenn die Schwere es nicht verhinderte.

In Folge der Axendrehung der Erde muß demnach der Weg, welchen ein frei fallender Körper in der ersten Fallsecunde durchläuft, am Aequator um 0,017 Meter kleiner sein als an den Polen.

Der Fallraum der ersten Secunde in der Nähe der Pole beträgt 4,909 Meter; ist derselbe nun am Aequator in der That um 0,017 Meter kleiner, so wäre demnach die Kraft, mit welcher ein Körper gegen die Erdoberfläche niedergezogen wird, in Folge der Axendrehung am Aequator um $^1/_{292}$ kleiner als an den Polen.

Eine solche Verminderung der Schwerkraft von den Polen nach dem Aequator hin findet aber in der That Statt. Beim freien Fall der Körper sie nachzuweisen, würde freilich schwer halten; wir besitzen aber im Pendel ein viel empfindlicheres Mittel, die Intensität der Schwere zu messen, und die Pendelversuche bestätigen diese Abnahme vollständig.

Im Jahre 1672 machte der französische Astronom Richer eine wissenschaftliche Reise nach Cayenne, welches nur 5° nördlich vom Aequator liegt. Als er hier seine Pendeluhr aufstellte, deren Gang zu Paris genau war regulirt worden, fand er, daß sie täglich $2^1/_2$ Minuten nachging; er mußte das Pendel nahe um $^5/_4$ Linien verkürzen, um den richtigen Gang wieder herzustellen. Es konnte dies um so weniger einer Störung der Uhr während der

Reise zugeschrieben werden, als die Uhr, nach Paris zurückgebracht, nun wieder 148 Secunden täglich vorging, so daß das Pendel wieder auf seine ursprüngliche Länge gebracht werden mußte.

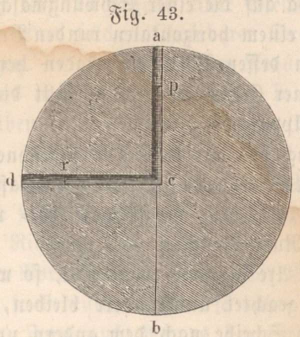
Man stellte später die genauesten Beobachtungen in verschiedenen Gegenden der Erde an, um die Länge des Secundenpendels zu ermitteln. Die folgende Tabelle enthält eine Reihe solcher von Sabine gemachten Bestimmungen.

Ort.	Breite.	Länge des Secundenpendels in Pariser Zollen.
St. Thomas	0⁰ 24′ 41″	39,012
Ascension	7 55 48 S.	39,024
Jamaika	17 56 7 N.	39,035
New-York	40 42 43 N.	39,101
London	51 31 8 N.	39,139
Drontheim	63 25 54 N.	39,174
Spitzbergen	79 49 58 N.	39,215

Da nun die beschleunigende Kraft der Schwere der Länge des Secundenpendels proportional ist, so ist durch diese Versuche erwiesen, daß in der That die Schwerkraft von den Polen nach dem Aequator hin abnimmt, und diese Abnahme ist im Wesentlichen durch die von der Axendrehung der Erde herrührende Schwungkraft bedingt.

Die Abplattung der Erde selbst, welche wir im vorigen Paragraphen kennen lernten, ist eine Folge ihrer Axendrehung. Um dies darzuthun, wollen wir uns die Erde zunächst als eine feste Kugel denken, in welcher sich zwei Canäle ac und dc befinden, welche im Mittelpunkte der Erde zusammentreffen, und von denen der eine beim Nordpol a, der andere an einem Punkte d des Aequators mündet (Fig. 43). Diese beiden Canäle seien nun mit Wasser gefüllt, so werden beide Wassersäulen durch die Schwerkraft gegen den Mittelpunkt c hin angezogen, und zwar gleich stark, wenn keine Axendrehung stattfindet; in diesem Falle werden die Wassersäulen cd und ca gleich hoch sein müssen, wenn Gleichgewicht stattfinden soll. In Folge der Rotation um die Axe ab wird aber der Zug der Schwere, den eine bei d befindliche Wasserschicht erleidet, wie wir gesehen haben, um $1/_{292}$ vermindert.

Fig. 43.



Betrachten wir aber eine zweite in der Aequatorialröhre liegende Wasserschicht bei

r, welche nur $\frac{1}{n}$ so weit von c entfernt ist wie d, so ist hier freilich die Schwungkraft $n$mal geringer, allein auch die Kraft, mit welcher die Schicht r gegen c hin gezogen wird, ist, wie sich aus dem Gesetze der allgemeinen Massenanziehung ergiebt, $n$mal kleiner als das Gewicht einer gleichen Wasserschicht bei d; mithin ist auch hier bei r der Zug der Schwere gegen c durch die Schwungkraft um $^1/_{292}$ kleiner, als sie ohne die Rotation der Erde sein würde, sie ist um $^1/_{292}$ kleiner als die Zugkraft, welche auf die gleich weit von c abstehende Schicht p in der Polarröhre wirkt. Da nun dasselbe für alle entsprechenden Schichten der beiden Röhren gilt, so ist klar, daß in Folge der Axendrehung der Erde die Gesammtkraft, welche das Wasser in der Röhre dc gegen den Erdmittelpunkt treibt, um $^1/_{292}$ kleiner ist, als die entsprechende Kraft, welche auf das Wasser in der Röhre ca wirkt, wenn also Gleichgewicht stattfinden soll, so muß die Wassersäule in der Aequatorialröhre cd um $^1/_{292}$ länger sein als die Wassersäule in der Polarröhre ca.

Wäre die ganze Erde eine flüssige, in 24 Stunden um ihre Axe rotirende Masse, so müßte offenbar zwischen dem Aequatorial- und dem Polarhalbmesser dasselbe Größenverhältniß bestehen, wie wir es eben für die Wassersäulen in den hypothetischen Röhren berechnet haben; oder, mit anderen Worten, die Erde müßte eine Polarabplattung von $^1/_{292}$ zeigen. Die auf diesem Wege berechnete Abplattung stimmt beinahe vollständig mit der durch Gradmessungen ermittelten überein, und diese Uebereinstimmung würde noch größer sein, wenn man alle hier influirenden Umstände bei der Rechnung berücksichtigt hätte. Es unterliegt demnach wohl keinem Zweifel, daß die Abplattung der Erde eine Folge ihrer Axendrehung ist, und daß sie zu der Zeit, als sie sich noch im flüssigen Zustande befand, schon dieselbe Axendrehung hatte wie gegenwärtig.

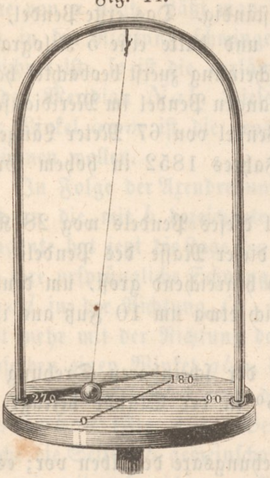
22 **Foucault's Pendelversuch.** Ein einfaches Pendel, welches in einer bestimmten Ebene schwingt, wird seine Oscillationsebene unverändert beibehalten, wenn nicht äußere Kräfte es aus derselben verdrängen.

Es läßt sich dies sehr leicht mit Hülfe der Vorrichtung, Fig. 44, welche auf irgend eine verticale Umdrehungsaxe, etwa auf die einer Schwungmaschine aufgesteckt werden kann, bewerkstelligen. Auf einem horizontalen runden Brette ist ein Bügel von Metalldraht befestigt, von dessen Mitte ein Faden herabhängt, welcher eine Bleikugel trägt. In seiner Gleichgewichtslage fällt dieses einfache Pendel mit der Umdrehungsaxe des Apparates zusammen.

Bringt man das Pendel in der Richtung der mit 0 — 180 bezeichneten Linie aus seiner Gleichgewichtslage, so wird es, alsdann sich selbst überlassen, über der Linie 0 — 180, also rechtwinklig zur Ebene des Bügels hin- und herschwingen, so lange der ganze Apparat in Ruhe bleibt.

Wird aber die Scheibe um ihre verticale Axe langsam umgedreht, so wird die Schwingungsebene des Pendels dessenungeachtet unverändert bleiben, es wird also der Reihe nach ein Durchmesser der Scheibe nach dem andern unter der Schwingungsebene des Pendels hindurchgehen. Nach einer Viertel-Umdrehung der Scheibe nimmt der Durchmesser 90 — 270 dieselbe Stellung ein, die ursprünglich 0 — 180 einnahm, in diesem Augenblick wird also das Pendel in der Ebene des Bügels oscilliren und in Beziehung auf die Scheibe erscheint jetzt die Schwingungsebene des Pendels um 90° gedreht. Dauert die Drehung der Scheibe in gleicher Richtung fort, so wird allmälig der Quadrant von 90 — 180, dann der von 180 — 270 u. s. w. unter der Schwingungsebene des Pendels hingehen. In dem Maße, in welchem die Scheibe von der Rechten zur Linken gedreht wird, in dem Maße scheint sich die Schwingungsebene des Pendels in Beziehung auf die Scheibe in entgegengesetzter Richtung, also von der Linken zur Rechten zu drehen.

Fig. 44.



In demselben Verhältniß, wie dieses Pendel zur gedrehten Scheibe, würde sich offenbar ein gerade über dem einen Pol, etwa dem Nordpol der Erde, aufgehängtes Pendel zur Erdoberfläche verhalten. Nehmen wir an, das Pendel werde in der Ebene der Meridiane 0 und 180° in Schwingung versetzt, so wird es in dieser Schwingungsebene, der Ebene also, welche die genannten Meridiane zu Anfang der Oscillationen einnahmen, verharren, während die Ebene der Meridiane 0 — 180° selbst ihre Stellung verändert, indem sie sich um die Erdaxe dreht, deren Verlängerung die Gleichgewichtslage des Pendels bildet.

Bei der fortdauernden Rotation der Erde werden der Reihe nach die verschiedenen Meridiane unter der Schwingungsebene des Pendels durchpassiren; in Beziehung auf die Erdoberfläche scheint sich also die Schwingungsebene des Pendels zu drehen und zwar in der Richtung von Ost nach West, weil die Erde in entgegengesetzter Richtung rotirt.

Ein an irgend einer Stelle des Erdäquators aufgehängtes Pendel kann von einer solchen scheinbaren Drehung der Schwingungsebene natürlich nichts zeigen. Hat man auf dem Aequator ein Pendel etwa in der Ebene des Meridians in Schwingung versetzt, so wird die Schwingungsebene auch im Meridian bleiben.

An allen zwischen dem Pol und dem Aequator befindlichen Punkten wird nun die Schwingungsebene des Pendels in Folge der Axendrehung der Erde eine solche Drehung zeigen müssen, und zwar auf der nördlichen Hemisphäre in der Richtung Ost, Süd, West u. s. w., auf der südlichen aber in der Richtung Ost, Nord, West u. s. w. Die Größe dieser Drehung wird in gleichen Zeiten um so bedeutender sein, je näher man sich dem einen Pole befindet.

Foucault war es, der zuerst auf den glücklichen Gedanken kam, daß die scheinbare Drehung der Schwingungsebene eines einfachen Pendels eine nothwendige Folge der Umdrehung der Erde sei, daß man also mittelst eines solchen Pendels, welches stundenlang fortschwingt, einen directen Beweis für die Axendrehung der Erde liefern kann.

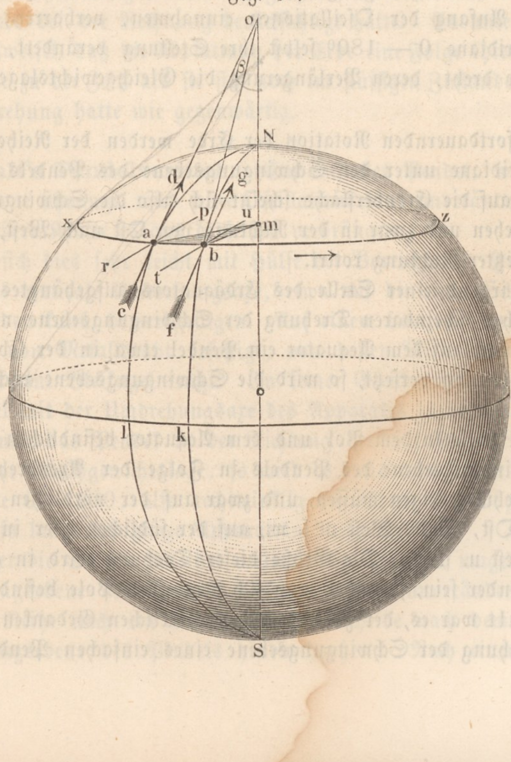
Der Versuch bestätigte seine Erwartung vollständig. Das erste Pendel, mit dem er experimentirte, war nur 2 Meter lang und hatte eine 5 Kilogramm schwere Kugel. Nachdem er an demselben die Erscheinung zuerst beobachtet hatte, wiederholte er den Versuch mit einem 11 Meter langen Pendel im Meridiansaale der Pariser Sternwarte und endlich mit einem Pendel von 67 Meter Länge im Pantheon zu Paris, welches zu Anfang des Jahres 1852 in hohem Grade das Interesse des großen Publicums erregte.

Die unten mit einer Spitze versehene Kugel dieses Pendels wog 28 Kilogramm und hing an einem Stahldraht. Bei dieser Masse des Pendels sind seine Schwingungen nach 5 bis 6 Stunden noch hinreichend groß, um deutlich beobachtet zu werden, wenn die Kugel ursprünglich etwa um 10 Fuß aus ihrer Gleichgewichtslage entfernt worden war.

Untersuchen wir nun, welches die Größe der scheinbaren Drehung der Schwingungsebene, welche am Pol offenbar 15° in der Stunde beträgt, für verschiedene Orte der Erdoberfläche sein muß.

Fig. 45 stelle die Erdkugel, NS die Umdrehungsaxe derselben vor; es sei ferner $xabz$ der Parallelkreis, auf welchem der Pendelversuch angestellt wird, und m sei der Mittelpunkt dieses Parallelkreises.

Fig. 45.



Läßt man nun in a das Pendel schwingen, so wird die Linie, welche die Pendelkugel bei ihrem Hin- und Hergange beschreibt, eine gerade Linie sein (wenn man von der geringen Krümmung abstrahirt), welche in der Horizontalebene von a liegt. Läßt man das Pendel gerade in der Richtung des Meridians, also in der Richtung schwingen, welche in unserer Figur durch den Pfeil cd bezeichnet ist, so ist die verlängerte Schwingungslinie jedenfalls eine Tangente an den Meridian Nal. Diese Tangente schneidet die verlängerte Erdaxe in o. Der Winkel aom ist die geographische Breite des Ortes a, welche wir mit φ bezeichnen wollen.

In Folge der Axendrehung der Erde gelangt aber der Punkt a nach einiger Zeit an die mit b bezeichnete Stelle und die in b an den Meridian gelegte Tangente hat jetzt die Lage bo, die Pendelkugel aber, welche vermöge der Trägheit ihre ursprüngliche Schwingungsrichtung beizubehalten strebt, oscillirt parallel mit cd in der Richtung fg, die Schwingungen des Pendels fallen also jetzt nicht mehr mit der Richtung des Meridians zusammen, sondern sie machen mit demselben einen Winkel gbo, dessen Werth wir nun ermitteln wollen.

Der Winkel gbo und der Winkel aob sind Wechselwinkel, folglich ist $gbo = boa$ (Fig. 45). Betrachten wir aber die Dreiecke abo und abm, welche die Seite ab gemeinschaftlich haben, so ist klar, daß sich der Winkel amb (den wir mit α bezeichnen wollen) zu dem Winkel boa (der durch β bezeichnet sein mag) verhält wie bo zu bm, oder daß

$$\alpha : \beta = bo : bm;$$

es ist aber $bm = bo\,.\,sin.\ bom = bo\,.\,sin.\ \varphi$, folglich haben wir

$$\alpha : \beta = 1 : sin.\ \varphi,$$

$$\beta = \alpha\,.\,sin.\ \varphi \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1).$$

Nun aber ist β der Winkel, um welchen sich die Schwingungsebene des Pendels gegen den Meridian gedreht hat, während der Beobachtungsort von a nach b gegangen ist; α aber ist der Winkel, um welchen sich unterdessen die Erde gedreht hat, also der Winkel, um welchen sich ein auf dem Pol aufgehängtes Pendel in derselben Zeit gegen den Meridian gedreht haben würde. Nach der obigen Gleichung bei 1) erhält man also die Größe, um welche sich die Schwingungsebene des Foucault'schen Pendels an irgend einem Orte in einer gegebenen Zeit drehen muß, wenn man die gleichzeitige Drehung des Polarpendels mit dem Sinus der geographischen Breite multiplicirt.

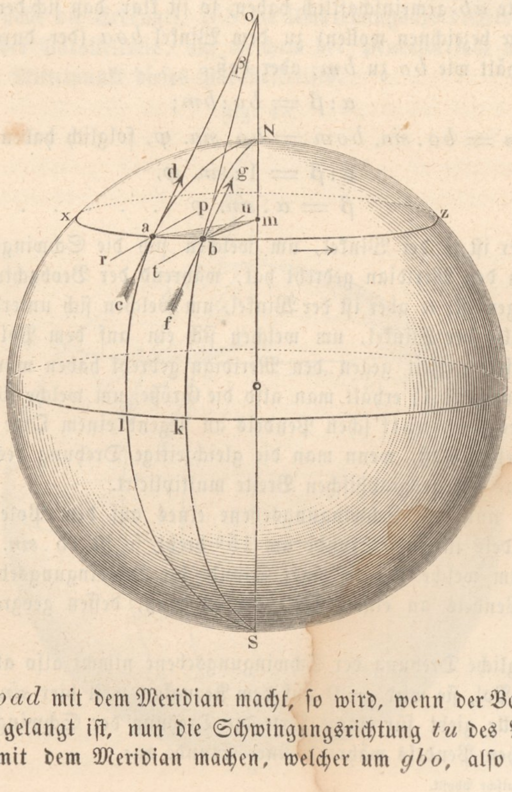
Da sich nun die Schwingungsebene eines auf dem Pole aufgehängten einfachen Pendels in einer Stunde um 15^0 dreht, so ist $15\,.\,sin.\ \varphi$ die Anzahl der Grade, um welche sich in einer Stunde die Schwingungsebene des Foucault'schen Pendels an einem Orte drehen muß, dessen geographische Breite φ ist.

Die fragliche Drehung der Schwingungsebene nimmt also ab mit der Entfernung vom Pol, sie wird $= 0$ auf dem Aequator, weil hier $sin.\ \varphi = 0$. Die folgende Tabelle giebt für einige Orte die Drehung der Schwingungsebene des Foucault'schen Pendels während einer Stunde an:

Ort.	Geograph. Breite.		Größe der Drehung in einer Stunde.
Nordpol	90°	—	15°
Königsberg	54°	42′	12,83
München	48	8	11,31
Rom	41	54	10,16
Merico	19	25	5,04
Cayenne	4	56	1,31

Wir waren in obiger Demonstration der Einfachheit der Betrachtung wegen von der Annahme ausgegangen, daß die Schwingungsebene des Pendels in a ursprünglich in der Richtung des Meridians stattfinde; es ist übrigens durchaus nicht nöthig, daß man gerade von dieser Schwingungsrichtung ausgehe. Nehmen wir an, das Pendel schwinge ursprünglich in der Richtung rp (Fig. 46), welche

Fig. 46.



einen Winkel pad mit dem Meridian macht, so wird, wenn der Beobachtungsort von a nach b gelangt ist, nun die Schwingungsrichtung tu des Pendels einen Winkel ubo mit dem Meridian machen, welcher um gbo, also um β größer ist als *pad*, die Schwingungsebene hat sich also auch jetzt scheinbar um den Winkel β nach Osten gedreht, also gerade so viel, als ob die Schwingungen in der Meridianebene begonnen hätten.

Obgleich die Axendrehung der Erde schon vorher zu den unzweifelhaftesten Lehren der Physik gezählt wurde, so erregte doch der Foucault'sche Pendelversuch in der ganzen physikalischen Welt das größte Interesse; er wurde an vielen Orten wiederholt und überall bestätigt gefunden, wo man hinreichend lange Pendel mit genügender Sorgfalt aufgehängt und Alles beseitigt hatte, was störend auf die Regelmäßigkeit des Ganges hätte einwirken können.

Zu den gelungensten Wiederholungen des Foucault'schen Pendelversuchs in Deutschland sind besonders die von Schwerd im Speyerer und die von Garthe im Kölner Dome angestellten zu rechnen.