

## Elemente

der

### Astronomie und mathematischen Geographie.

#### Erster Abschnitt.

##### Axenumdrehung der Erde.

§ 347. Anblick des Himmels; Horizont. Der Himmel stellt sich dem Beobachter als ein (abgeflachtes) halbkugelförmiges Gewölbe dar, welches mit seiner kreisförmigen Grundfläche auf der Erde zu ruhen scheint. Denkt man sich das Himmelsgewölbe nach unten zur vollen Himmelskugel erweitert, so nennt man den höchsten und tiefsten Punkt derselben bezüglich Zenith und Nadir. Die gemeinschaftliche Grundfläche der sichtbaren und unsichtbaren Hälfte der Himmelskugel heisst der Horizont (*ὀρίζειν*, begrenzen) oder Gesichtskreis. Der Horizont ist also derjenige grösste Kreis der Himmelskugel, welcher senkrecht von der durch den Beobachtungspunkt als Mittelpunkt gelegten Vertikalen durchschnitten wird, also gleichweit vom Zenith und Nadir entfernt ist. Unterschieden von diesem, genauer als wahrer oder geometrischer Horizont bezeichneten, ist der scheinbare Horizont, der durch die zufällige Gestalt der Erdoberfläche bestimmt wird.

Der scheinbare Horizont ist ebenso abhängig von der Erhebung des Beobachtungspunktes über der Erde. Als wirklicher Kreis würde er sich nur darstellen, wenn die Erde eine wahre Kugelgestalt hätte, und der Standpunkt etwa auf dem freien, unbewegten Meere angenommen würde. Der wahre Horizont dagegen ist unabhängig von der Höhe des Beobachtungspunktes. Denkt man sich durch den Mittelpunkt der Erde parallel zur Tangentialebene der Erde am Fußpunkt des Beobachters eine Ebene gelegt, so wird durch diese und die Tangentialebene, wenn man beide bis zur Region der Fixsterne (§ 398) ausgedehnt denkt, weil gegen die Dimensionen der Himmelskugel die der Erde als verschwindend klein zu erachten sind, auf der Himmelskugel eine Zone von unendlich kleiner Breite, d. h. derselbe Durchschnittskreis bestimmt, der wahre Horizont. Weiterhin ist der wahre Horizont kurzweg als Horizont bezeichnet.

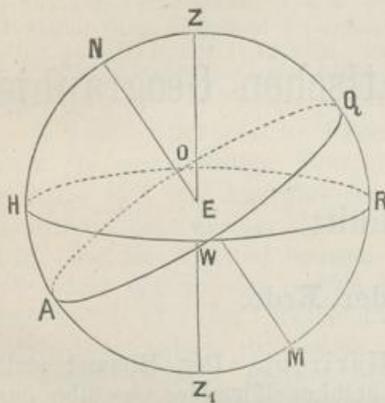
In der Nacht zeigt sich der Himmel mit einer grossen Anzahl von Gestirnen bedeckt, unter denen sich, abgesehen vom Monde, die Fixsterne durch ihr scharfes, funkelndes Licht von den in ruhigem, matterem

Glanz leuchtenden Planeten (*πλανῶσθαι*, herumschweifen) unterscheiden lassen. Bei Tage werden die Sterne dem unbewaffneten Auge durch das von der Atmosphäre reflektierte Sonnenlicht verdunkelt.

Bei totalen Sonnenfinsternissen werden die helleren Gestirne sichtbar; ebenso lassen sich dieselben auch bei Tage durch ein Fernrohr auffinden.

§ 348. Scheinbare tägliche Drehung der Himmelskugel. Eine kurze Beobachtung genügt zur Wahrnehmung, daß sich der ganze Himmel um eine gegen den Horizont *HR* (Fig. 293) geneigte Axe *NM*, die sogenannte

Fig. 293.



Himmels- oder Weltaxe, dreht, so daß einzig die Schnittpunkte dieser Axe mit der Himmelskugel unbeweglich bleiben, die beiden Himmelspole, unterschieden als Nordpol *N* und Südpol *M*. Die Bewegung der Gestirne nämlich erfolgt von Osten nach Westen auf parallelen, zur Himmelsaxe senkrechten Kreisen mit gleichförmiger Winkelgeschwindigkeit, vermöge deren sie in jeder Stunde einen Bogen von ungefähr 15 Grad beschreiben (§ 354). Ein großer Teil der Sterne geht dabei am Osthimmel auf und am Westhimmel unter.

Zur genaueren Feststellung dieser Bewegung nennt man den Vertikalkreis durch die Weltaxe den Mittagskreis oder Meridian des Ortes und die Schnittpunkte des Meridians mit dem Horizont den Nordpunkt *H* und den Südpunkt *R*, von denen auf dem Horizont gleichweit entfernt der Ostpunkt *O* und der Westpunkt *W* liegen. Den Meridian erreichen die Gestirne im höchsten und niedrigsten Punkt ihrer Bahn, also zum Teil in der Mitte der Zeit zwischen ihrem Auf- und Niedergang, die Sonne selbst um Mittag. Der Himmelsäquator *AQ* ist derjenige größte Kreis der Himmelskugel, welcher durch die Himmelsaxe senkrecht durchschnitten wird. Er geht durch den Ost- und den Westpunkt und wird in diesen Punkten durch den Horizont halbiert. Er teilt die Himmelskugel in zwei Hälften, welche als nördliche und südliche Halbkugel des Himmels unterschieden werden. Die Lage von Punkten am Himmel läßt sich nunmehr bestimmen, indem man sich durch die beiden Pole ein System von Kreisen gelegt denkt, die Himmelsmeridiane, welche den Äquator senkrecht durchschneiden und senkrecht zur Himmelsaxe ein zweites System von Kreisen, welche sämtlich dem Äquator parallel sind und Parallelkreise genannt werden (§ 351).

Die scheinbare Drehung der Himmelskugel ist (§ 352) eine Folge der täglichen Axenumdrehung der Erde. Erdaxe und Weltaxe fallen darum zusammen, ebenso der Äquator der Erde und der Himmelsäquator, sowie auch die Erdmeridiane erweitert mit den Himmelsmeridianen übereinkommen (§ 363).

§ 349. Cirkumpolarsterne; Sternbilder. Die scheinbare tägliche Bewegung der Sterne erfolgt in Parallelkreisen (§ 348), deren höchster und niedrigster Punkt auf dem Meridian des Beobachters liegen und bezüglich

als ih  
und d  
diese  
halb  
kump  
minati  
oberha  
Tagbo  
Cirkur  
Horizo  
A  
halten  
Himm  
Grupp  
einzel

Zu  
zugswe  
stern  
gewen  
sich C  
den kl  
der Gi

N  
in etw  
die Gi  
Capella  
und zu  
und R  
zwischen  
Zwilli  
des Ko  
und w  
am Ä  
liegt i  
des D  
Kron  
Leier  
zwischen  
vom Ä  
A  
höhe  
Das M  
Bestim  
des w

sich e  
wegt,  
Meiler  
um el

\*)  
vier al  
rung e  
beinah  
aufser  
führt  
Linie,

als ihr oberer und unterer Kulminationspunkt bezeichnet werden, und die verschiedenen Himmelsmeridiane sind als ebenso viele Durchmesser dieser Bahnen anzusehen. Sterne, deren unterer Kulminationspunkt oberhalb des Horizontes liegt, welche also niemals untergehen, heißen Cirkumpolarsterne. Für den äußersten dieser Sterne ist der untere Kulminationspunkt der Nordpunkt (§ 348). Den Bogen, welchen die Gestirne oberhalb des Horizontes beschreiben, nennt man ihren Tagbogen. Der Tagbogen eines Gestirns im Äquator ist demnach ein Halbkreis, der eines Cirkumpolarsternes ein voller Kreis. Sterne, deren Bahnen unterhalb des Horizontes liegen, bleiben dem Beschauer unsichtbar.

Abgesehen von dieser scheinbaren Bewegung in Parallelkreisen behalten die Fixsterne (vergl. jedoch § 404) ihre gegenseitige Stellung am Himmel bei. Sie werden nach dieser ihrer unveränderlichen Stellung in Gruppen zusammengefaßt, die sogenannten Sternbilder, welche sich nach einzelnen heller leuchtenden Repräsentanten leicht unterscheiden lassen.

Zur Orientierung am Nordhimmel dienen in der mittleren Breite von  $50^\circ$  vorzugsweise der große Bär (der große Wagen), der kleine Bär mit dem Polarstern, die Cassiopeja\*, auf deren einer, dem Kopf des großen Bären zugewendeten, ziemlich sternarmen Seite die Giraffe und auf deren anderer Seite sich Cepheus und weiterhin der Drache befinden, der mit seinem Schweife den kleinen Bären umschlingt und sich zwischen diesem und dem großen Bären, der Giraffe zu, hinstreckt. (Vergl. die Sternkarten.)

Nummehr liegen, vom Polarstern aus gerechnet, jenseits der Cassiopeja, in etwa der doppelten Entfernung wie diese, das Sternbild Andromeda, über die Giraffe hin Perseus und der Fuhrmann mit dem Stern erster Größe Capella, zwischen beiden weiterhin die Plejaden und Hyaden (mit Aldebaran) und zum Teil bis über den Äquator hinaus der Orion (mit  $\alpha$  Orionis [Beteigeuze] und Rigel), noch tiefer der große Hund (mit dem Sirius). Weiter kommen zwischen dem Fuhrmann und dem Kopf des großen Bären das Sternbild der Zwillinge (Kastor und Pollux) und nahe am Äquator Procyon; ferner jenseits des Kopfes des großen Bären der kleine und der große Löwe (mit Regulus) und weiterhin jenseits des Schwanzes des großen Bären die Jagdhunde und am Äquator die Jungfrau (mit Spica); das Sternbild Bootes (mit Arcturus) liegt in der etwa dreifachen Verlängerung des kleinen Bären über den Schweif des Drachen hinaus, dann jenseits des Kopfes des Drachen erst die nördliche Krone (über den Äquator hinaus der Skorpion [mit Antares]), und dann die Leier (mit Wega), darüber hinaus am Äquator der Adler [mit Atair], endlich zwischen der Leier und Andromeda der Schwan (mit Deneb) und  $30^\circ$  südlich vom Äquator der südliche Fisch (mit Fomalhaut).

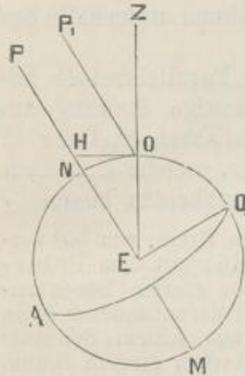
Aus der oberen und unteren Kulmination eines Gestirns läßt sich die Polhöhe (§ 350) des Beobachtungsortes bestimmen, ferner die Lage des Meridians. Das Meridianfernrohr ist nur im Meridian beweglich und dient demnach zur Bestimmung der Kulminationszeit der Gestirne und, bei Beobachtung der Sonne, des wahren Mittags (§ 359).

§ 350. Gestalt und Dimensionen der Erde; Polhöhe. Wenn sich ein Beobachter auf demselben Meridian von Süden nach Norden bewegt, so erhebt sich nach Zurücklegung einer Strecke von 15 geographischen Meilen (111 km) der Nordpol um einen Grad und verringert sich demnach um ebensoviel die Neigung des Äquators. Die umgekehrte Erscheinung

\*) Der große Bär ist charakterisiert durch sieben hellere Sterne, von denen sich vier als Eckpunkte eines länglichen Vierecks, die drei übrigen nahezu in der Verlängerung einer Seite desselben darstellen, die Cassiopeja durch fünf hellere Sterne, welche beinahe die Figur des Buchstabens W bilden. Die gerade Linie durch die beiden äußersten Sterne des Vierecks im großen Bären, etwa um das Sechsfache vergrößert, führt auf den Polarstern, und dieser liegt wieder ziemlich in der Mitte einer geraden Linie, welche die Mitte des großen Bären mit der Cassiopeja verbindet.

tritt bei der Bewegung nach Süden hin ein, bis am Äquator der Erde selbst der Nordpol mit dem Nordpunkt (§ 348) zusammenfällt, und der Äquator ein Vertikalkreis wird. Entsprechende Erscheinungen machen sich auf der Südhalfte der Erde geltend. Allgemein findet sich, daß die Erhebung des Pols über den Horizont, die Polhöhe, übereinkommt mit der geographischen Breite des Ortes, und darum ist die Bestimmung der Polhöhe von so hoher Bedeutung für die geographische Ortsbestimmung (§ 364).

Fig. 294.



In Fig. 294 ist  $OP_1 \parallel MN$ , folglich  $\angle ZOP_1 = OEN$  und als deren Komplementwinkel die Polhöhe  $P_1OH$  gleich der geographischen Breite  $OEQ$ .

Aus der Übereinstimmung der geographischen Breite mit der Polhöhe und der gleichen Länge der Meridiangrade läßt sich ein Schluß auf die Kugelgestalt der Erde machen. Bestätigt wird dieser Schluß durch die überall auf der Erde beobachtete Kreisform des Horizontes (§ 347), durch die bekannte Erscheinung, daß man von entfernten hohen Gegenständen beim Annähern zuerst die oberen Teile am Horizont auftauchen sieht, durch Umsegelungen der Erde, durch den kreisförmigen Schatten der Erde bei Mondfinsternissen (§ 384)

und endlich durch die Beobachtung der Kugelform an anderen Himmelskörpern, im besonderen an der Sonne, am Monde und an den größeren Planeten. Gradmessungen der Erde, durch Bouguer und La Condamine in den Jahren 1736—1744 in Peru ausgeführt und durch spätere Messungen an anderen Teilen der Erdoberfläche bestätigt, haben ergeben, daß die Meridiangrade mit der geographischen Breite zunehmen, daß also die Erde an den Polen abgeplattet ist. Auf dasselbe Resultat war bereits Newton durch theoretische Untersuchungen geführt worden.

Die erste annähernd richtige Bestimmung der Ausdehnungen der Erde rührt von Eratosthenes (276—195 v. Chr.) her, der aus der Höhendifferenz der Sonne zur Zeit der Sonnenwende in Alexandrien und Syene (Assuan), die etwa  $\frac{1}{50}$  des Kreisumfangs beträgt, während er die Entfernung beider Orte auf 5000 Stadien schätzte, den Umfang eines Erdmeridians auf 250000 Stadien (46400 km) berechnete. Im Jahre 1617 wurde zuerst von Snellius zur Messung der Länge eines Bogens auf der Erde die Triangulation angewandt. Genauere Gradmessungen sind später 1669 von Picard und Cassini in Frankreich ausgeführt worden; als Resultat derselben ergab sich (fälschlich), daß ein Meridiangrad im südlichen Frankreich größer sei als im nördlichen, woraus auf die Form der Erde als eines verlängerten Ellipsoids geschlossen werden mußte. Nach den genauesten Berechnungen Bessels beträgt die Länge des Äquatorialhalbmessers der Erde 6377,4 km, die des Polarhalbmessers 6356,08 km, ihr Unterschied 21,32 km. Als die Abplattung der Erde bezeichnet man den Unterschied der beiden Halbmesser dividiert durch den Äquatorialhalbmesser; dieselbe ist nach den Besselschen Berechnungen gleich  $\frac{1}{299,1528}$  (§ 56). — Die Längeneinheit, das Meter, ist ur-

sprünglich als der zehnmillionste Teil eines Meridianquadranten der Erde bestimmt worden. Dieser Bestimmung würden Meridiane vom Halbmesser 6365,5 km zugehören, wenn man dieselben als kreisförmig annehmen wollte.

Daß die Erde genau genommen auch nicht die Form eines Umdrehungsellipsoids (Sphäroids) besitzt, hat sich erst durch Längengradmessungen (§ 351) ergeben. Diese wurden zuerst 1811 in Frankreich unternommen und 10 Jahre später von Brest bis Straßburg durchgeführt; sie erfuhren einen neuen Aufschwung, seitdem die Telegraphie den geodätischen Messungen dienstbar gemacht

werden  
Leben  
schen  
Gener  
außer  
die Nu  
die in  
genom  
Gestalt  
astron

§  
mische  
bleibt  
zeit d  
Zeitun  
Wester  
unters  
baren  
diese  
mehr

Fü  
nicht i  
in vers  
welche  
Höhe, a  
meter z  
Fernroh  
Breite

§  
wegung  
den, u  
Vorurte  
die täg  
Täusch  
ihre A  
Tages  
immer  
Lauf a  
sache v  
bespro  
Axenum  
erschei  
vorhebe

1.  
körper,

2.  
Erde se  
Zeit vor

3.  
an den  
drehung

werden konnte. Die umfassendste Gradmessung ist 1857 von W. Struwe ins Leben gerufen, 1861 durch den General Baeyer († 1885) zu einer mitteleuropäischen und endlich 1864 in einer von fast allen beteiligten Staaten beschickten Generalkonferenz zu einer europäischen erweitert worden. Bei dieser werden außer astronomischen und geodätischen Arbeiten auch Nivellements ausgeführt, die Nullpunkte der einzelnen Länder (vergl. § 95) mit einander verbunden, sowie die in den wichtigsten Seehäfen bestehenden Pegel in das Nivellierungsnetz aufgenommen; endlich werden auch, weil die Intensität der Schwerkraft mit der Gestalt der Erde in innigem Zusammenhang steht (§ 63), an möglichst vielen, astronomisch bestimmten Punkten Pendelbeobachtungen angestellt.

§ 351. Zeit- und Längenunterschiede. Wählt man zu astronomischen Beobachtungen verschiedene Punkte desselben Parallelkreises, so bleibt die Polhöhe (§ 350) dieselbe, dagegen ändert sich die Kulminationszeit der Gestirne und im besonderen auch die der Sonne, es tritt also ein Zeitunterschied ein, welcher mit zunehmender Entfernung von Osten nach Westen hin wächst. Für jeden Längengrad (§ 364) beträgt der Zeitunterschied den 360. Teil eines Tages, d. h. 4 Minuten, weil bei der scheinbaren Drehung der Himmelskugel um ihre Axe ein Gestirn gerade um diese Zeit früher in den Meridian gelangt, als für einen um einen Grad mehr westlich gelegenen Punkt der Erde.

Für alle Punkte der Erde, welche sich nur in der geographischen Breite, nicht in der Länge, unterscheiden, kommt derselbe Stern zu gleicher Zeit, aber in verschiedener Höhe in den Meridian; dagegen für alle Punkte gleicher Breite, welche sich also nur in der Länge unterscheiden, gelangt derselbe Stern in gleicher Höhe, aber zu verschiedener Zeit in den Meridian. Darum dienen gute Chronometer zur Bestimmung der geographischen Länge (vergl. § 355), während durch Fernrohre, welche zur Beobachtung der Höhe der Gestirne dienen, die geographische Breite eines Ortes festgestellt wird (§ 350).

§ 352. Axenumdrehung der Erde. Die bisher betrachtete Bewegung der Himmelskugel ist jahrtausendlang als solche aufgefaßt worden, und es hat langer Forschungen und eines schweren Kampfes gegen Vorurteile bedurft, ehe sich die Überzeugung Geltung verschafft hat, daß die tägliche Umdrehung des Himmels nur eine scheinbare ist, also auf Täuschung beruht und nur die Folge ist einer Bewegung der Erde um ihre Axe, welche in der Richtung von West nach Ost innerhalb eines Tages erfolgt. Obschon der Sprachgebrauch selbst, nach welchem man immer noch die Gestirne auf- und untergehen, die Sonne ihren täglichen Lauf am Himmel beschreiben läßt u. s. w., der Klarlegung dieser Thatsache widerstreitet, so lassen sich, abgesehen vor allem davon, daß die besprochene tägliche Bewegung der Himmelskugel durch Annahme der Axenumdrehung der Erde als mit den einfachsten Mitteln bewerkstelligt erscheint, für diese Axenumdrehung folgende Gründe vorzugsweise hervorheben:

1. Das Massenverhältnis der Erde und der meisten Himmelskörper, z. B. zur Sonne wie 1 : 324439 (§ 370).
2. Alle Himmelskörper, wie verschieden ihre Entfernung von der Erde sein mag, legen ihren scheinbaren Lauf um die Erde in der gleichen Zeit von 24 Stunden zurück.
3. Die Analogie mit den an anderen Himmelskörpern, vorzugsweise an den Planeten und an der Sonne selbst (§ 372), beobachteten Umdrehungsbewegungen.

4. Die Abplattung der Erde an den Polen, dargethan durch die Abnahme der Schwerkraft von den Polen zum Äquator (§ 350).

Der Astronom Richer mußte im Jahre 1672 sein in Paris reguliertes Sekundenpendel nahezu um 2,8 mm verkürzen, als er mit demselben in Cayenne Beobachtungen anstellte, weil es in 24 Stunden um 148 Sekunden zu spät ging, während er nach seiner Rückkehr nach Paris die frühere Pendellänge wiederherzustellen hatte (vergl. § 63).

5. Die Luftströmungen in der Erdatmosphäre, im besonderen die Passat- und Gegenpassatströmungen (§ 252).

6. Die östliche Abweichung von der vertikalen Richtung eines aus großer Höhe fallenden Körpers. Vermöge der vermehrten Schwungkraft, welche ein Punkt in größerer Erhebung über der Erdoberfläche, z. B. an der Spitze eines Turmes, verglichen mit einem Punkt am Fuß desselben, besitzt, ergibt sich für den ersteren eine größere horizontale Drehungskomponente in der Richtung der Axenumdrehung, d. h. von Westen nach Osten, so daß ein von der Spitze herabfallender Körper in dieser Richtung der Drehung eines Punktes am Fuß voraneilen muß.

Schon von Newton ist 1679 diese Abweichung vorausgesagt worden, bestätigt wurde sie durch Versuche von Reich in Freiberg, bei denen sich für eine Fallhöhe von 158,5 m und die Beschleunigung der Erdschwere  $g = 9,811$  m, in der geogr. Breite  $50^\circ 57'$  eine östliche Abweichung von 28 mm ergab, während die Theorie eine solche von 27,5 mm erforderte. Außer der östlichen zeigt ein fallender Körper auch eine, wenn auch nur sehr geringe, südliche Abweichung von der vertikalen Richtung.

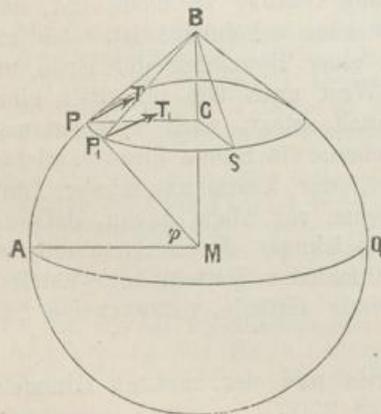
7. Der Foucaultsche Pendelversuch. Ein möglichst frei aufgehängtes Pendel zeigt im Sinne der scheinbaren täglichen Drehungsrichtung der Himmelskugel eine Drehung seiner Schwingungsebene. Die Schwingungsebene eines Pendels nämlich, auf welches andere Kräfte als die Schwere nicht einwirken, muß in der That unveränderlich bleiben; darum ändert sich ihr Winkel mit allen auf der sich unter ihr drehenden Erde fest gegebenen Richtungen und zwar in der

Weise, daß an jedem Pol diese Richtungsänderung in 24 Stunden  $360^\circ$ , also in einer Stunde  $15^\circ$  beträgt, während am Äquator dieselbe sich auf Null reduziert: An einem Aufhängungspunkt in der Breite  $\varphi$  dreht sich die Schwingungsebene in einer Stunde um den Winkel  $15^\circ \cdot \sin \varphi$ .

Es sei  $APQ$  (Fig. 295) ein Erdmeridian,  $AMP = \varphi$  die geographische Breite des Aufhängungspunktes  $P$ . In einem sehr kleinen Zeitraum beschreibe, vermöge der Axendrehung der Erde, der Punkt  $P$  das Element  $PP_1$  des Parallelkreises, das als geradlinig angesehen werden mag. Schwingt das Pendel anfänglich in der durch die Tangente  $PT$  dargestellten Richtung, so ist wegen der Unveränderlichkeit der Rich-

tung der Schwingungsebene durch  $P_1T_1 \parallel PT$  die Schwingungsrichtung in  $P_1$  dargestellt; die Richtungen der Meridiane dagegen in  $P$  und  $P_1$  sind die der Tangenten  $PB$  und  $P_1B$ . Im ganzen wird von  $PB$  ein Kegelmantel beschrieben, das Element  $PBP_1$  ist als eben anzusehen, und weil in seiner Ebene die parallelen Linien  $PT$  und  $P_1T_1$  enthalten sind, so ist Winkel  $PBP_1 = BP_1T_1 = BPT$ , also wird durch diesen Winkel die scheinbare Richtungsabweichung der Schwingungsebene in  $P_1$  dargestellt.

Fig. 295.



AL  
Bogen  
währen  
den P  
Schwi  
des Ma  
gamma  
Mantel  
Breite

Fo  
und sp  
gestell

In  
ebene e  
Die  
sehen v  
seit Hip  
geänder  
der dur  
(§ 388)  
so schn

§

Die Be  
die ein  
welche  
es sich  
bei ein  
Grunde  
HR de  
scissen  
Gestirn  
auf dem  
Ordinat  
Azimu  
fangspu  
punkt  
man da  
und Os  
also da  
viel G  
seiner  
ridian  
Gestir  
90° ge  
Gestirns

Zur  
Fernroh  
einem h  
werden h  
liegt im  
Höhenbe  
erfunden  
einem h  
mäsigste

die Allmählich setzt sich im Laufe der Zeit aus den Bogenelementen  $PP_1$  der Bogen  $PS$ , aus den Flächenelementen  $PBP_1$  das Mantelstück  $PBS$  zusammen; während also infolge der Axenumdrehung der Erde der Aufhängungspunkt  $P$  den Bogen  $PS$  beschreibt, summieren sich die scheinbaren Abweichungen der Schwingungsebene des Pendels zu einem Winkel, welcher sich durch Applanierung des Mantelstückes  $PBS$  ergibt. Es sei dieser Winkel durch  $\gamma_1$ ,  $PCS$  aber durch  $\gamma$  bezeichnet, so verhält sich  $\gamma_1$  zu  $\gamma$ , wie der Kreisabschnitt  $PCS$  zu dem Mantelstück  $PBS$ , d. h. wie  $\cos BPC$  zu 1, und weil  $BPC$  das Komplement der Breite ist, so ist:

$$\gamma_1 = \gamma \cdot \sin \varphi.$$

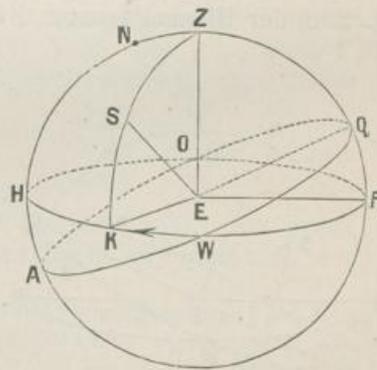
Foucault hat seine Versuche öffentlich zuerst 1851 im Pariser Observatorium und später im Pantheon, die letzteren mit einem 62 Meter langen Pendel, angestellt.

In der Breite von Berlin, d. h. für  $\varphi = 50^\circ 30'$ , dreht sich die Schwingungsebene eines Pendels in 24 Stunden um  $285^\circ 30'$ , also in einer Stunde um  $11^\circ 54'$ .

Die Zeit der Axenumdrehung der Erde kann als unveränderlich angesehen werden; wenigstens hat Laplace den Schluss gemacht, daß sich diese Zeit seit Hipparch, d. h. seit 2000 Jahren, nicht um den hundertsten Teil einer Sekunde geändert hat. Aus neueren Berechnungen jedoch über den hindernden Einfluß der durch Sonne und Mond bewirkten abwechselnden Bildung von Ebbe und Flut (§ 388) hat sich ergeben, daß die Erde sich vor 10000 Millionen Jahren etwa doppelt so schnell um ihre Axe gedreht haben mag als jetzt.

§ 353. Das Horizontalsystem, Azimut und Höhenwinkel. Die Bestimmung der Lage eines Punktes am Himmel geschieht ähnlich wie die eines Punktes in der Ebene, nämlich durch rechtwinklige Koordinaten, welche ihrem jedesmaligen Zweck entsprechend gewählt werden. Handelt es sich um die Feststellung der augenblicklichen Lage eines Gestirns  $S$  bei einer Beobachtung, so bedient man sich des Horizontalsystems. Zu Grunde liegt demselben der Horizont  $HR$  des Ortes, entsprechend der Abscissenaxe, und die Höhe  $SK$  des Gestirns über dem Horizont, gemessen auf dem zugehörigen Vertikalkreise, als Ordinate; diese Koordinaten heißen Azimut und Höhenwinkel. Als Anfangspunkt für das Azimut gilt der Südpunkt  $R$ , und von diesem aus rechnet man das Azimut über Westen, Norden und Osten von  $0^\circ$  bis  $360^\circ$ , so daß also das Azimut  $RR$  angiebt, wieviel Grade nach Westen hin von seiner höchsten Stellung im Meridian des Beobachtungsortes das Gestirn vorgerückt ist. Der Höhenwinkel  $SK = h$  wird von  $0^\circ$  bis  $90^\circ$  gezählt und ist jedesmal das Komplement der Zenithdistanz  $SZ$  des Gestirns.

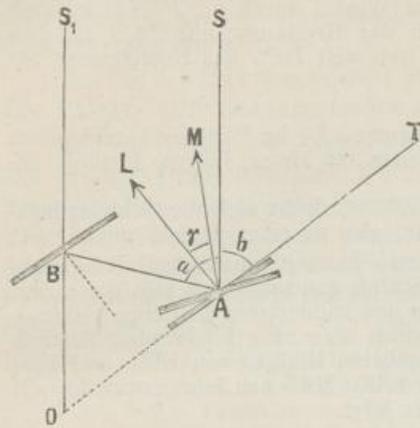
Fig. 296.



Zur Bestimmung des Azimuts und des Höhenwinkels dient vorzugsweise ein Fernrohr (ein sogenanntes Universalinstrument), dessen Stellung zugleich auf einem horizontalen und auf einem vertikalen, genau graduierten Kreise abgelesen werden kann; der nach dem Nullpunkt des horizontalen Kreises gerichtete Radius liegt im Meridian des Beobachtungsortes. — Das einfachste Instrument zu einer Höhenbestimmung ist der von Hadley (1731), (von Newton wohl schon 1700) erfundene Sextant, durch welchen man das Gestirn  $S$  selbst und sein Bild in einem horizontalen Spiegel, einem künstlichen Horizont, der sich am zweckmäßigsten durch Quecksilber herstellen läßt, zur Deckung bringt.

Der Winkel  $S_1OT = SAT = b$  (Fig. 297), unter welchem die beiden (unendlich entfernten) Punkte  $S$  und  $T$  von  $O$  aus erscheinen, ist doppelt so groß als der Winkel  $\gamma = LAM$ , um welchen der Spiegel  $A$  (die Alhidade) gedreht ist;  $LA$  und  $MA$  sind Einfallslotte für die verschiedenen Stellungen des Spiegels.

Fig. 297.



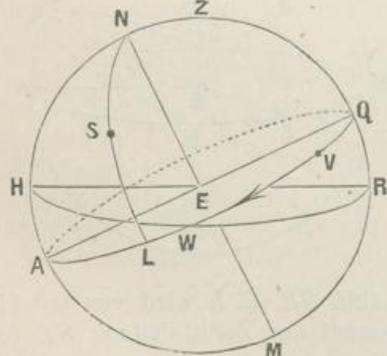
In der That ist, wenn man den Winkel  $BAS = a$  setzt, Winkel  $BAT = a + b$ ,  $BAL = \frac{a}{2}$ ,  $MAT = \frac{a+b}{2}$ , folglich  $LAM$  oder  $\gamma = \frac{b}{2}$ .

Zur Feststellung der durch Beobachtungen am Himmel gewonnenen Resultate hat man die durch die Brechung der Lichtstrahlen in der Atmosphäre veranlasste Ablenkung derselben von ihrem geradlinigen Wege in Betracht zu ziehen, also eine Korrektion wegen der atmosphärischen Strahlenbrechung zu machen, welche um so größer ist, je flacher gegen den Horizont die Lichtstrahlen in die Atmosphäre eintreten.

Die Ablenkung der Lichtstrahlen steigt bis über einen halben Grad und ist außerdem, weil die Luft nicht immer dieselbe Dichtigkeit besitzt, von dem Stand des Quecksilbers im Thermometer und Barometer abhängig. Um zuverlässige Resultate aus Beobachtungen zu erhalten; dürfen diese sich nicht unter eine Höhe von  $25^\circ$  ausdehnen.

§ 354. Das Äquatorialsystem, Rektascension und Deklination. Um die gegenseitige Stellung der Gestirne zu einander zu bestimmen, also vorzugsweise auch um ihre Lage auf einer Sternkarte festzustellen, dient das Äquatorialsystem. Als Fundamentalkreis tritt hier (Fig. 298) der Himmelsäquator  $AQ$  auf, und auf diesen wird der Ort eines Gestirns  $S$  bezogen, einmal durch seine Entfernung vom Äquator  $SL$ , die Deklination  $\delta$ , welche auf dem durch das Gestirn gehenden Meridian nördlich und südlich von  $0^\circ$  bis  $90^\circ$  gezählt wird, und ferner durch den Abstand dieses Meridians von einem bestimmten Punkt des Äquators, dem Frühlings- tagundnachtgleichenpunkt  $V$  (§ 356), durch die Rektascension  $VL$  (genauer  $VQAL$ ) =  $\alpha$ , welche von Westen durch Süden nach Osten, also entgegengesetzt der durch die Pfeilspitze angedeuteten scheinbaren Drehung der Himmelskugel, gerechnet wird von  $0^\circ$  bis  $360^\circ$ .

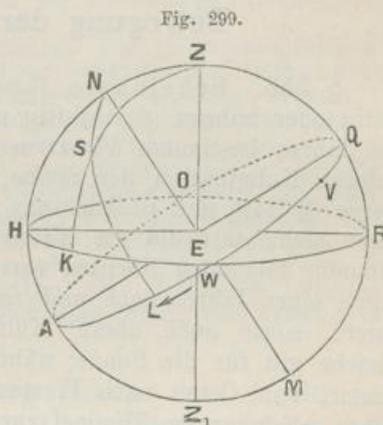
Fig. 298.



Die Rektascension  $\alpha$  eines Gestirns giebt an, um wieviel Grade bei der scheinbaren Umdrehung der Himmelskugel dasselbe hinter dem Äquinoktialpunkte  $V$  zurück ist, oder wenn man die Gradanzahl in Zeit überträgt, indem jeden 15 Grad, 15 Bogenminuten, 15 Bogensekunden bezüglich eine Stunde, eine Zeitminute, eine Zeitsekunde entspricht (§ 348), um wieviel Zeit das betreffende Gestirn später kulminiert als der Punkt  $V$ . Um diese Übertragung von Bogenmaß in Zeitmaß zu erübrigen, wird in der Regel die Rektascension von vornherein in Zeitmaß ausgedrückt.

Von der Rektascension wohl zu unterscheiden ist der Stundenwinkel eines Gestirns, durch welchen die Größe der Drehung der Himmelskugel oder die Zeit ausgedrückt wird, welche verflossen ist seit seiner oberen Kulmination, so daß der Stundenwinkel mit jeder Stunde um  $15^\circ$  wächst, während die Rektascension unverändert dieselbe bleibt.

§ 355. Das Polardreieck. Die Elemente des Horizontal- und des Äquatorialsystems vereinigt dienen zur Beantwortung vieler Fragen, welche vorzugsweise die Bestimmung der Zeit betreffen, und von denen einzelne hervorgehoben werden mögen. In Fig. 299 sei die Himmelskugel dargestellt und zwar sei  $HR$  der Horizont,  $Z$  das Zenith,  $AQ$  der Äquator und  $N$  der Nordpol, so sind (§ 348)  $R, W, H, O$  bezüglich der Süd-, West-, Nord-, Ostpunkt; legt man jetzt durch  $S$ , den Ort eines beliebigen Sternes, den Vertikalkreis  $ZSK$ , so ist  $SK$  der Höhenwinkel  $h$  und  $SZ$ , das Komplement von  $h$ , die Zenithdistanz  $z$ ,  $RK$  das Azimut  $a$  des Sternes (§ 353) und  $NH$  die Polhöhe  $\varphi$ , und wenn durch  $S$  und  $NM$  der Meridian gelegt wird, so ist  $SL$  die nördliche Deklination  $\delta$  und  $VL$  (genauer  $VQOAL$ ) die Rektascension  $\alpha$  (§ 354), endlich der Winkel  $QNL$ , auf dem Äquator durch den Bogen  $QL$  gemessen, der Stundenwinkel  $\tau$ .



Von besonderer Bedeutung für den Zusammenhang der eben erwähnten Elemente ist das sphärische Dreieck  $NSZ$ , das sogenannte Polardreieck des Sternes, dessen Seiten und Winkel, wie folgt, darzustellen sind:

$$\begin{aligned} SZ &= 90^\circ - h = z, & SNZ &= \tau, \\ NS &= 90^\circ - \delta, & NZS &= 180^\circ - a, \\ ZN &= 90^\circ - \varphi, & ZSN &= \varepsilon, \end{aligned}$$

wo  $\varepsilon$  der parallaktische Winkel des Sternes heißt. Aus jeden drei dieser Bestimmungsstücke sind die übrigen leicht zu berechnen.

Es sei beispielsweise die geographische Breite eines Ortes  $\varphi$  und bei einmaliger Beobachtung Azimut und Höhe eines Sternes bekannt, so ist durch Rechnung leicht seine Deklination und sein Stundenwinkel zu bestimmen. Gegeben sind:

$$NZ = 90^\circ - \varphi, \quad Z = 180^\circ - a, \quad SZ = z,$$

folglich ergibt sich die Deklination  $\delta$  aus der Gleichung:

$$\cos SN = \cos NZ \cdot \cos SZ + \sin NZ \cdot \sin SZ \cdot \cos Z$$

oder:

$$\sin \delta = \sin \varphi \cdot \cos z - \cos \varphi \cdot \sin z \cdot \cos a.$$

Oder ist aus der Polhöhe eines Ortes, der Deklination und dem Höhenwinkel eines Sternes sein Stundenwinkel zu finden, so ergibt sich:

$$\operatorname{tg} \frac{\tau}{2} = \pm \sqrt{\frac{\sin(s - \varphi) \cdot \sin(s - \delta)}{\cos s \cdot \cos(s - z)}},$$

wo beide Zeichen in Betracht kommen können, weil der Stundenwinkel  $\tau$  bis  $360^\circ$  gezählt wird (§ 354), und  $s = \frac{\varphi + \delta + z}{2}$  zu setzen ist. Ist die Sonne das be-

obachtete Gestirn, so ergibt sich als Resultat der Stundenwinkel der Sonne, d. h. die wahre Sonnenzeit (§ 359). Darum wird die Beobachtung der Höhe der Sonne von großer Bedeutung für die Zeit- und Längenbestimmung, zumal auf offener See, durch Vergleichung mit einem guten Chronometer, welches etwa die mittlere Zeit eines seiner Länge nach bekannten Hafenplatzes zeigt.

## Zweiter Abschnitt.

### Bewegung der Erde um die Sonne.

§ 356. Scheinbare jährliche Bewegung der Sonne. Gleichzeitig oder nahezu gleichzeitig mit der Sonne kulminieren zu jeder Zeit des Jahres bestimmte Fixsterne, unter denen sich während der Zeit der unteren Kulmination der Sonne, d. h. um Mitternacht, die Cirkumpolarsterne (§ 349) der Beobachtung nicht entziehen. Bei dieser Beobachtung findet sich, daß die um Mitternacht kulminierenden Sterne in den auf einander folgenden Nächten vorrücken und zwar in der Weise, daß im Laufe eines Jahres nach und nach jeder Teil des Fixsternhimmels seine untere (sowie auch obere) Kulmination um Mitternacht erreicht. Das Gleiche gilt für die Sonne; während aber auf diese bezogen der Fixsternhimmel von Osten nach Westen vorzurücken scheint, bleibt die Sonne selbst scheinbar am Himmel zurück, oder macht an diesem alljährlich in der Richtung von Westen nach Osten, also entgegengesetzt der scheinbaren täglichen Drehung der Himmelskugel, einen Umlauf. Dabei ändern sich zugleich von Tage zu Tage der Höhenwinkel der Sonne, im besonderen ihre Mittagshöhe (§ 353) und die Punkte ihres Auf- und Unterganges. Wenn man nunmehr die verschiedenen Stellungen der Sonne in eine Sternkarte, oder besser auf einen Himmelsglobus einträgt, so zeigt sich, daß die Sonne während eines Jahres einen größten Kreis am Himmel beschreibt, die Ekliptik (*ἐκλειπτικὸς κύκλος*), welcher gegen den Äquator die ungefähre Neigung von  $23\frac{1}{2}^{\circ}$  hat. Befindet sich die Sonne in einem der beiden Schnittpunkte von Äquator und Ekliptik, so beträgt ihr Tagbogen (§ 349)  $180^{\circ}$ , sind also Tag und Nacht einander gleich: diese Schnittpunkte heißen darum auch der Frühlings- und Herbst-Tag- undnachtgleichenpunkt (Äquinoktialpunkte  $\Omega$  und  $\vartheta$ , vergl. die Anm.). Während des Sommers befindet sich die Sonne auf der nördlichen Hälfte der Himmelskugel und zwar in ihrer größten Entfernung, nämlich  $23\frac{1}{2}^{\circ}$  vom Äquator zur Sommersonnenwende am 21. Juni, während sie die entgegengesetzte tiefste Stelle am Südhimmel am 21. Dezember im Wintersonnenwendepunkt einnimmt (§ 366). Vom Frühlings-Äquinoktium aus kommt sie dabei im Laufe eines Jahres nach einander in die zwölf Sternbilder des Tierkreises oder Zodiakus:

Widder,	Stier,	Zwillinge, —
Krebs,	Löwe,	Jungfrau, —
Wage	Skorpion,	Schütze, —
Steinbock,	Wassermann,	Fische,

deren jedes  $30^{\circ}$  des Tierkreises umfaßt.

I  
welch  
Pete  
Nach  
2940  
2000  
ein m  
§ 361

deren  
heissen  
mache  
kreise  
gleich  
die St  
A  
eigent  
Sonne  
jedoch  
leichte  
den a  
auf d  
stimm  
mit de  
terisie  
durch  
Knoten  
Richtu

§  
Eklip  
am H  
über  
einem  
§§ 3  
(Fig.  
EK  
deren  
kugel  
südl  
und i  
Gestir  
nördli  
den  
und  
Kreise  
gemes  
stirns,  
Osten

Di  
Schwa  
Mond  
punkt  
Sonne  
März

I  
(§ 35