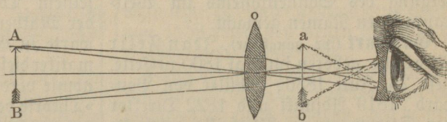
G.

Galaktisch, auf die Milchstraße (griech. galaxias) bezüglich.

Galatea, Planetoid (74).

Galilei, Galileo, geb. 18. Febr. 1564 zu Pisa, gest. 8. Jan. 1642 in Arcetri; der Vater der neuern Physik, der erste, der mit dem eben erfundenen Fernrohr die Wunder der Sternwelt erschloß. Er wurde 1589 Professor zu Pisa, 1592 zu Padua, seit 1610 Mathematikus am großherzoglichen Hof zu Florenz. Schon in Pisa hatte er an dem schiefen Turm Versuche über die Fallbewegung angestellt, und in die Zeit seines Aufenthalts in Padua, wo er vor zahlreichen Schülern aus den verschiedensten Ländern Europas lehrte, fallen seine Forschungen über die Bewegungslehre, die einfachen Maschinen und das Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten sowie die Erfindung des Thermometers. Das größte Aufsehen aber erregte es, als im August 1609 das Gerücht von der Erfindung des Fernrohrs in Holland nach Italien kam und G. daraufhin ein solches Instrument aus einer Konvex- und einer Konkavlinse zusammensetzte. Mit dem Fernrohr entdeckte er nun die Mondgebirge, die Jupitermonde, löste die Milchstraße in Sterne auf etc.; sein »Sternenbote« (»Nuncius sidereus«, 1610) gab der staunenden Mitwelt Kunde von diesen Leistungen, und im folgenden Jahr ging er auf Einladung verschiedener Kardinäle nach Rom und überzeugte dort die Zweifelnden, darunter den Mathematiker Clavius und den Kardinal Bellarmin, durch den Augenschein von der Richtigkeit seiner Entdeckungen am Himmel. Aber seine glänzenden Erfolge verbitterten seine zahlreichen Gegner, die er unter den Anhängern der alten Aristotelischen Schule hatte, immer mehr. Ihnen war G. schon seit seinen Fallversuchen verhaßt, und jetzt gab er ihnen durch sein Eintreten für das Weltsystem des Kopernikus einen neuen willkommenen Angriffspunkt. Auf ihren Betrieb erklärte 5. März 1616 die Kongregation des Index in Rom die Lehre von der Beweglichkeit der Erde und der Unbeweglichkeit der Sonne für falsch und der Heiligen Schrift gänzlich zuwiderlaufend, und damit eine derartige Meinung nicht der katholischen Wahrheit zum Verderben weiterschleiche, beschloß die Kongregation, das Buch des Kopernikus über die Bewegung der Himmelskörper zu suspendieren, bis es verbessert sei. Unmittelbar wurde G. zunächst nicht von diesem Dekret berührt, und da sich das Gerücht verbreitete, er habe in die Hand des Kardinals Bellarmin seinen Irrtum abgeschworen, stellte derselbe ihm ein Zeugnis aus, welches die Grundlosigkeit dieses Gerüchts bestätigte. Als 1623 der G. befreundete Kardinal Maffei Barberini als Urban VIII. den päpstlichen Stuhl bestieg, versuchte G. eine Zurücknahme jenes Dekrets zu erwirken, aber vergebens. Gleichwohl gab er sich der Hoffnung hin, daß es ihm gestattet sein werde, die Gründe für und gegen das alte und das neue Weltsystem unbehindert zu besprechen, und so schrieb er denn seine berühmten »Gespräche über die zwei Weltsysteme, das Ptolemäische und Kopernikanische«. In diesen kämpft ein Ptolemäer, Simplicius, gegen zwei Anhänger des Kopernikus, Salviati und Sagredo, in deren Namen G. das Andenken zweier verstorbener Freunde ehren wollte. Scheinbar geht Simplicius als Sieger aus dem Kampf hervor, aber der Leser fühlt, daß das größere Gewicht der Gründe auf Seite der Kopernikaner ist. Nicht ohne Mühe erlangte G. die Erlaubnis zum Druck, und so erschien denn das Buch 1632, sogar mit doppeltem Imprimatur. Der Erfolg war ein außerordentlicher, aber um so eifriger waren Galileis Gegner, insbesondere der mächtige Jesuitenorden, bemüht, ihn zu verderben. Sie wußten dem Papst einzureden, daß G. ihn als Simplicius verspottet habe, und um den Beweis zu führen, daß derselbe ein positives Verbot übertreten habe, brachten sie im Herbst 1632 ein (offenbar gefälschtes) Blatt zum Vorschein, welches eine Art Protokoll über eine G. 26. Febr. 1616 von seiten des Kardinals Bellarmin in Gegenwart von Zeugen erteilte Vermahnung enthielt, daß er die Lehre des Kopernikus gänzlich aufgeben und fernerhin in keinerlei Weise für wahr halten, lehren oder verteidigen solle, weder in Worten noch Schriften, »sonst werde gegen ihn im heiligen Offizium verfahren werden«. Dabei, setzt das Schriftstück hinzu, habe sich G. beruhigt und Gehorsam versprochen. Die »Gespräche« wurden nun verboten, und G. erhielt die Aufforderung, sich vor der Inquisition in Rom zu verantworten. Leidend mußte er bei schlechter Jahreszeit (20. Jan. 1633) von Florenz nach Rom reisen, wo er 13. Febr. ankam. Vom Tage des ersten Verhörs (12. April) an wurde er im Palast der Inquisition inhaftiert, und nachdem er viermal verhört worden, mußte er 22. Juni 1633 in der Kirche Santa Maria sopra Minerva in Gegenwart einer großen Anzahl geistlicher Würdenträger knieend abschwören, verwünschen und verfluchen die falsche und der Heiligen Schrift zuwiderlaufende Lehre, die Sonne sei das Zentrum der Welt, und dieselbe gehe nicht von O. nach W., die Erde bewege sich und sei nicht das Zentrum der Welt. Daß er nach der Abschwörung, mit dem Fuße stampfend, gerufen habe: »Und sie bewegt sich doch!« ist eine Fabel, die sich anscheinend zuerst im 3. Bande der »Querelles littéraires« von Irailh (Par. 1761) findet. Nachdem G. noch zwei Tage im Inquisitionsgefängnis zurückbehalten worden, wurde ihm die Villa Medici, 30. Juni aber der Palast des Erzbischofs Piccolomini in Siena als Wohnsitz angewiesen. Vom 1. Dez. 1633 an durfte er in seine Villa bei Arcetri zurückkehren, blieb aber bis an sein Lebensende unter strenger Aufsicht der Inquisition und durfte sich nur zeitweilig, als er 1637 erst das rechte und bald darauf das linke Auge verlor und sehr leidend wurde, in sein Haus zu Florenz zurückziehen. Auch nach seinem Tod (1642) gab die Inquisition den ihr Verfallenen noch nicht frei: er durfte nicht in einer Familiengruft der Kirche Santa Croce zu Florenz, sondern nur in einer Seitenkapelle beigesetzt werden, keine Leichenrede durfte gesprochen und das Grab durch kein Denkmal geschmückt werden! Erst die spätere Nachwelt hat diese Schuld abgetragen. Vgl. Gebler, G. (1876 u. 1878); der 2. Band enthält einen vollständigen Abdruck der Prozeßakten.

Galileisches oder **holländisches Fernrohr,** das zuerst 1608 in Holland und dann selbständig von Galilei konstruierte Fernrohr, dessen Objektiv eine Sammellinse und dessen Okular eine Zerstreuungslinse ist. Die erstere, o in unsrer Figur, würde



Galileisches Fernrohr.

von dem entfernten Objekt AB ein umgekehrtes verkleinertes Bild entwerfen, wenn nicht die Lichtstrahlen, noch bevor sie sich zum Bild vereinigt haben, auf das Okular träfen, welches sie divergent macht, so daß ihre Rückverlängerungen das Bild ab geben, welches aufrecht ist. Da der Gesichtswinkel, unter welchem dasselbe erscheint, größer ist als derjenige, unter welchem man das Objekt mit bloßem Auge sieht, so ist das Bild auch vergrößert, und zwar ist die Vergrößerung gleich der Brennweite des Objektivs, dividiert durch die Zerstreuungsweite des Okulars. Da dieses Fernrohr schon bei schwachen Vergrößerungen ein verhältnismäßig kleines Gesichtsfeld besitzt, so wird es nicht zu wissenschaftlichen Zwecken, sondern nur zu Taschenperspektiven und Operngucken verwandt.

Galileische Zahl, veraltete Bezeichnung für den Weg eines frei fallenden Körpers in der ersten Sekunde, $\frac{1}{2}g = 4{,}9$ m. Vgl. Fall der Körper.

Galle, Johann Gottfried, geb. 9. Juni 1812 in Pabsthaus bei Gräfenhainichen unweit Wittenberg, studierte in Berlin unter Encke, wurde Gehilfe an der dortigen Sternwarte und ist seit 1851 Professor der Astronomie in Breslau und Direktor der dortigen Sternwarte.

Gallet (spr. -läh), Jean Charles, in der zweiten Hälfte des 17. Jahrh. als Propst an der Kirche St. Symphorion in Avignon lebend, hat zuerst 1684 auf die exzentrische Lage der Saturnringe aufmerksam gemacht.

Gallia, Planetoid (148).

Galloway (spr. gällouéh), Thomas, geb. 26. Febr. 1796 in Lanarkshire, ursprünglich Lehrer am Militärkolleg zu Sandhurst, gest. 1. Nov. 1851 als Beamter einer Feuerversicherungsgesellschaft; hat sich durch seine Arbeiten über die Bewegung des Sonnensystems im Weltraum einen Namen gemacht.

Gambart (spr. gangbáhr), Jean Félix Adolphe, geboren im Mai 1800 zu Cette, gest. 23. Juli 1836; Schüler von Bouvard, 1819 Adjunkt und 1822 Direktor der Sternwarte zu Marseille, entdeckte 1822–33: 13 Kometen.

Gang einer Uhr in einem bestimmten Zeitraum ist der Unterschied des Standes der Uhr (vgl. Stand einer Uhr) am Anfang und am Ende dieser Zeit. Man zieht dabei den spätern Stand von dem frühern ab, so daß ein positiver Gang ein zu langsames, ein negativer aber ein zu schnelles Gehen der Uhr anzeigt.

Gans, s. Fuchs; amerikanische G., s. Tukan.

Garumna, Planetoid (180).

Gascoigne (spr. gaßkónnj), William, geboren zu Middleton um 1621, im englischen Bürgerkrieg als Parteigänger Karls I. 2. Juli 1644 in der Schlacht bei Marston-Moor gefallen; wird als Erfinder des Mikrometers betrachtet, weil er 1640 die Durchmesser des Mars und Jupiter mittels zweier in seinem Fernrohr angebrachter und durch Schrauben gegeneinander verschiebbarer paralleler Fäden maß.

Gasparis, Annibale de, durch seine Planetoidenentdeckungen bekannter ital. Astronom, geb. 9. Nov. 1819 zu Bugnara in den Abruzzen, seit 1842 Gehilfe Capoccis und seit 1864 Direktor der Sternwarte zu Capo di Monte bei Neapel.

Gassendi, Pierre, ein äußerst vielseitiger Gelehrter, geb. 22. Jan. 1592 zu Chartansier bei Digne, Sohn armer Landleute, gest. 24. Okt. 1655 in Paris; wurde schon im Alter von 16 Jahren Lehrer der Rhetorik und drei Jahre später Professor der Philosophie zu Aix, dann Kanonikus und Propst in Digne, endlich 1642 Professor der Mathematik in Paris.

Gaubil, Antoine, geb. 14. Juli 1689 zu Gaillac in Languedoc, ging 1723 als Jesuitenmissionär nach China, wo er 24. Juli 1759 in Peking starb; er hat uns mit vielen astronomischen Beobachtungen der Chinesen bekannt gemacht.

Gauß, Karl Friedrich, geb. 30. April 1777 zu Braunschweig, von 1807 bis zu seinem Tod 23. Febr. 1855 Professor der Mathematik und Direktor der Sternwarte in Göttingen, der größte Mathematiker dieses Jahrhunderts, um die Astronomie verdient besonders durch sein Werk »Theorie der Bewegung der Himmelskörper, welche in Kegelschnitten um die Sonne laufen« (lat. 1809; deutsch von Haase, 1865) und die Erfindung der Methode der kleinsten Quadrate.

Gaußsche Konstante nennt man bisweilen eine in der Theorie der Anziehung vorkommende Größe. Dem dritten Keplerschen Gesetz zufolge hat der Bruch

$$\frac{a^3}{u^2},$$

in welchem a die halbe große Achse der Bahn und u die Umlaufszeit ausdrückt, für alle Planeten denselben Wert. Dies ist indessen nicht in aller Strenge richtig, vielmehr ist es der Ausdruck

$$\frac{a^3}{(1+m)\,u^2},$$

welcher für alle Planeten denselben Wert hat. Dabei ist m die Masse des Planeten, wenn man die Sonnenmasse als Einheit annimmt. Nur dem Umstand, daß die Masse m im Vergleich zur Sonnenmasse bei allen Planeten sehr klein ist und gegen diese vernachlässigt werden darf, ist die fast strenge Gültigkeit des dritten Keplerschen Gesetzes zu danken. Sonach ist auch, wenn $\pi = 3{,}1415927$,

* $$\frac{4\,\pi^2 a^3}{(1+m)\,u^2} = k^2$$

eine Größe, die für alle Planeten denselben

* pag 191

$$4\pi^2\frac{R^3}{r^2U^2} = \frac{4\pi}{U^2}\left(\frac{R}{r}\right)^3 \cdot r\pi$$

Wert besitzt, oder eine Konstante. Die Theorie der Zentralbewegung lehrt, daß dieselbe die Anziehung angibt, welche die Sonne auf einen in der Entfernung 1 befindlichen Planeten ausübt. Die Größe k ist es nun, welche man die G. K. nennt. Ihr Wert ist begreiflicherweise verschieden je nach der Wahl der Einheiten für die Masse, Länge und Zeit, welche man der Rechnung zu Grunde legt. Gauß nahm als solche die Sonnenmasse, die halbe große Achse der Erdbahn und den mittlern Sonnentag, und indem er für die Erde $m = 1/354710$, $a = 1$, $u = 365{,}2563835$ setzte, fand er

$$k = 0{,}01720209895$$

oder ungefähr $1/58$. Für manche Zwecke ist es gut, diese Größe in Bogensekunden auszudrücken, wobei $1 = 206{,}264{,}8''$ (s. Kreis) zu setzen ist.

Gautier (spr. gohtjéh), Alfrède, geb. 18. Juli 1793 zu Genf, 1819—39 Professor der Astronomie und Direktor der Sternwarte daselbst, hat sich ebenso wie sein Neffe, der Oberst Emile G. (geb. 1822 zu Genf), um Erforschung der Sonnenflecke verdient gemacht.

Gebrochenes Fernrohr, s. Universalinstrument.

Gedrittschein, s. Aspekten.

Gegenerde (Antichthon), s. Antichthon und Weltsystem (der Pythagoreer).

Gegenfüßler, s. v. w. Antipoden.

Gegenschattige, s. v. w. Antiscii.

Gegenschein, s. v. w. Opposition, vgl. Aspekten.

Gegenwohner, s. v. w. Antöci.

Gemini (lat.), Zwillinge (s. d.).

Geminus, griech. Schriftsteller, wahrscheinlich aus Rhodus stammend, lebte um 70 v. Chr. in Rom und schrieb eine für die damalige Zeit recht brauchbare, uns noch erhaltene »Einleitung in die Astronomie« (1819 von Halma mit dem Ptolemäos veröffentlicht). Er ist ein entschiedener Gegner der zu seiner Zeit in Rom überhand nehmenden Astrologie; auch hält er, was bemerkenswert, die Fixsterne für ungleich weit entfernt.

Gemma Frisius, Rainer, geb. 1508 zu Dockum in Friesland (daher der Zuname Frisius), gest. 1555 als Professor der Medizin in Löwen, hat sich als tüchtiger Kupferstecher und Kartenzeichner, durch Verbesserung einer unter dem Namen »astronomischer Ring« bekannten tragbaren Sonnenuhr sowie als Schriftsteller um Astronomie und Kosmographie verdient gemacht. In seiner Schrift »Prinzipien der Astronomie und Kosmographie« (lat. 1530) schlug er zuerst die direkte Vergleichung der Ortszeiten durch tragbare Uhren zur Bestimmung der geographischen Länge vor, und in einer andern 1533 erschienenen Schrift hat Wolf die früheste Empfehlung der geodätischen Triangulationsmethode gefunden.— Sein Sohn Cornelius G., der 1533—77 zu Löwen als Arzt und Professor der Medizin lebte, hat unter anderm den Kometen von 1558 sowie den neuen Stern in der Kassiopeia 1572 beobachtet.

Geozentrisch (griech., »auf den Erdmittelpunkt bezüglich«) nennt man denjenigen Ort eines Gestirns, den dasselbe für einen im Erdmittelpunkt befindlichen Beobachter einnehmen würde. Für die Fixsterne ist derselbe mit dem von der Erdoberfläche aus zu beobachtenden Ort identisch, für den Mond, dann auch für die Sonne und die nähern Planeten macht sich infolge der Parallaxe (s. d.) ein Unterschied geltend. Indessen wird der Ausdruck nicht bloß im Gegensatz gebraucht zu dem Orte, den ein Himmelskörper, von der Erdoberfläche aus gesehen, einnimmt, sondern zu seinem heliozentrischen Orte, d. h. dem Ort, an welchem man ihn vom Sonnenmittelpunkt aus erblicken würde.

Geozentrisches Weltsystem, ein Weltsystem, welches die Erde in den Mittelpunkt des Weltalls setzt, wie die Systeme des Eudoxos und Ptolemäos, im Gegensatz zu dem heliozentrischen System des Kopernikus.

Gerade Aufsteigung (Geradaufsteigung), s. v. w. Rektaszension.

Gerda, Planetoid (122).

Gerling, Christian Ludwig, geb. 10. Juli 1788 zu Hamburg, gest. 16. Jan. 1864; war 1812—17 Lehrer am Lyceum zu Kassel, später Professor an der Universität Marburg und Direktor der dortigen Sternwarte.

Geſechſtſchein, ſ. Aſpekten.
Geſichtsfeld, ſ. Fernrohr.
Geviertſchein, ſ. Aſpekten.
Gezeiten, von Berghaus eingeführte Benennung von Ebbe und Flut (ſ. d.).

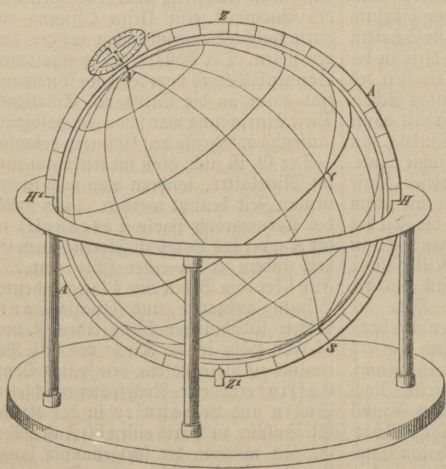
Gilliß, James M., geb. 6. Sept. 1811 zu Georgetown in den Vereinigten Staaten, geſt. 9. Febr. 1865 zu Waſhington; trat 1827 in die Marine, wurde 1833 Leutnant, war ſeit 1838 mit aſtronomiſchen Beobachtungen beſchäftigt und hatte 1842 weſentlichen Anteil an der Gründung der Marineſternwarte in Waſhington, deren Leitung Maury erhielt, und ſtand 1849—1852 an der Spitze der aſtronomiſchen Expedition, welche die Vereinigten Staaten nach Chile ſchickten, um durch Beobachtung der Venus zur Zeit ihres Stillſtands die Sonnenparallaxe zu beſtimmen. In Ermangelung guter korreſpondierender nördlicher Beobachtungen wurde das Ziel zwar nicht erreicht, die Expedition ward aber Veranlaſſung zur Gründung der Sternwarte in Santiago de Chile. Als 1861 Maury auf die Seite der ſezeſſioniſtiſchen Südſtaaten trat, erhielt G. die Direktion der Sternwarte in Waſhington.

Giraffe (Camelopardalis), Sternbild des nördlichen Himmels, bis nahe an den Nordpol reichend, zwiſchen dem Kleinen Bären, den Füßen des Cepheus und der Kaſſiopeia, dem Perſeus, dem Kopf des Großen Bären, nur kleine Sterne enthaltend, deren Zahl Flamſteed auf 51 angab; Heis zählte 138 dem bloßen Auge ſichtbare. Unter den Sternen befinden ſich mehrere Doppelſterne, von welchen beſonders der von Struve mit Nr. 1694 bezeichnete am Kopf der G. (Rektaſzenſion 192° 0′, Deklination 84° 12′ für 1855) leicht zu beobachten iſt; beide Sterne ſind weiß, der Hauptſtern iſt 4,9, der Begleiter 5,4 Größe, der Abſtand nach Struve (1832) 21,75″. In der Nähe des Schwanzes ſteht ein ziemlich heller planetariſcher Nebel von etwa 1′ Durchmeſſer, den W. Herſchel 3. Nov. 1787 entdeckte, und ungefähr 1½° nördlich davon ein auch mit bloßem Auge ſichtbarer Sternhaufe (Rektaſzenſion 58° 47′, Deklination 61° 56′ für 1855).

Gleichungen nennt man in der Theorie der Planeten- und Mondbewegung Glieder, welche zu den mittlern Werten des Radius Vector und der Länge hinzugefügt werden müſſen, um den wahren Radius Vector und die wahre Länge zu erhalten. Eine ſolche Gleichung iſt immer ein Produkt, von dem der erſte Faktor eine feſte (konſtante) Größe, der andre aber bei den G. des Radius Vector der Koſinus, bei denen der Länge der Sinus eines Winkels iſt. Der erſte Faktor heißt der Koeffizient der Gleichung, der Winkel aber wird das Argument derſelben genannt. Vgl. Jährliche Gleichung, Mittelpunktsgleichung. Einfach in der Bedeutung »Fehler« iſt das Wort Gleichung gebraucht in dem Ausdruck Perſönliche Gleichung (ſ. d.).

Globus (lat.), eine Kugel, auf welcher die Oberfläche der Erde oder der Himmel mit ſeinen Sternen dargeſtellt iſt. Im erſtern Fall haben wir es mit einem Erdglobus, im letztern mit einem Himmelsglobus zu thun. An dieſer Stelle beſchäftigen wir uns nur mit dem letztern.

Der Himmelsglobus (ſ. Figur) beſteht aus einer Kugel, welche an zwei diametral gegenüberſtehenden Punkten N und S durch Stifte in einem metallenen Ring NZSZ′ derart befeſtigt iſt, daß ſie ſich um NS drehen läßt. Die Kugel ſtellt den Himmel dar, NS die Weltachſe. Demgemäß ſind auf der Kugel das Syſtem der Deklinationskreiſe, die ſich in N und S ſchneiden, ferner der Himmelsäquator AA und das dazu gehörige Syſtem von Parallelkreiſen ſowie die Ekliptik, welche den Äquator im Frühlingspunkt ♈ unter 23½° ſchneidet, und außerdem die wichtigſten Sterne, die Umriſſe der Sternbilder ꝛc. angegeben. Der kreisförmige Ring NZSZ′, welcher in Grade eingeteilt iſt, ſtellt den Meridian des Beobachtungsorts dar und iſt bei H und H′ in Einſchnitte des horizontalen Ringes HH′ ſowie außerdem bei Z′ in einen Einſchnitt eingeſetzt, ſo daß er ſich mit einiger Reibung drehen läßt. Der Ring HH′ ſtellt den Horizont des Beobachtungsorts vor; er ruht auf Füßen und iſt gleichfalls von H aus in Grade geteilt, und außerdem iſt auf ihm gewöhnlich noch die Stellung der Sonne in der Ekliptik für die einzelnen Monate des Jahrs verzeichnet. Endlich ist noch ein kleiner Kreis, eine sogen. Rose, zu erwähnen, die bei N angebracht ist; er ist in 24 gleiche Teile (Stunden) geteilt, und ein über ihm angebrachter verstellbarer Zeiger gibt an, um wieviel die Kugel aus ihrer Anfangslage um die Achse NS gedreht worden ist. Außerdem braucht man für manche Zwecke noch, zur Darstellung eines Höhenkreises, einen mit Gradteilung versehenen metallenen



Himmelsglobus.

Kreisbogen, der im höchsten Punkt Z (dem Zenith) am Meridian festgeklemmt werden kann.

Ein solcher G. ist nun geeignet, uns ein getreues Bild des gestirnten Himmels darzubieten, wenn wir absehen von dem wohl nicht allzu störenden Übelstand, daß der G. uns die Außenfläche der Himmelskugel darbietet, während wir dieselbe in Wirklichkeit von innen, vom Mittelpunkt aus, beobachten. Um aber ein solches Bild des Himmels für einen bestimmten Ort, einen bestimmten Tag und eine bestimmte Stunde zu erhalten, muß der G. erst orientiert werden.

Zu diesem Zweck dreht man zunächst den Metallring, welcher den Meridian repräsentiert, so weit innerhalb des horizontalen Ringes, bis der Bogen H'N gleich der geographischen Breite des Beobachtungsorts ist.

Alsdann stellt man den G. so, daß der Metallring in die Ebene des Meridians, H' und N nach Norden, H nach Süden, kommt. Dazu kann man den Kompaß benutzen, der in der Regel an dem Fußgestell des G. angebracht ist; indessen bedarf es für die meisten Zwecke gar keiner so genauen Einstellung in den Meridian.

Demnächst liest man auf dem horizontalen Kreis die Länge der Sonne für den betreffenden Tag ab und sucht dann auf dem Kreis der Kugel, welcher die Ekliptik repräsentiert und in Grade geteilt ist, den Ort der Sonne auf. Man dreht dann den G. so lange um seine Achse, bis dieser Punkt im S. in den Meridian kommt. Nunmehr stellt man den Zeiger der Rose noch auf 0, und der G. ist zum Gebrauch fertig.

Will man z. B. den Anblick des Himmels um 10 Uhr abends an diesem Tag kennen lernen, so dreht man den G. um die Achse, bis der Zeiger auf der Rose auf 10 Uhr zeigt. Will man die Kulminationszeit oder die Zeit des Auf- oder Untergangs eines Sterns erfahren, so dreht man den G. so weit, daß der betreffende Stern auf der Kugel entweder unter dem metallenen Meridian oder auf der Ost- oder auf der Westseite in der Höhe des horizontalen Ringes steht, und liest dann die Stunde ab, welche der Zeiger auf der Rose angibt. Bestimmt man auf diese Weise die Zeit des Auf- und Untergangs der Sonne, so gibt die Zwischenzeit zugleich die Tageslänge an.

In ähnlicher Weise lassen sich noch viele Aufgaben mit Hilfe des G. leicht und einfach lösen, wenn man sich mit angenäherten

Resultaten begnügen kann; denn die Genauigkeit kann der Natur der Sache nach keine große sein.

Gluckhenne, die Plejaden.

Gnomon, ein uraltes astronomisches Instrument zur Ermittelung von Sonnenhöhen, bestehend aus einem lotrechten Stab, der auf einer horizontalen Ebene steht, auf welche er seinen Schatten wirft. Die Länge dieses Schattens nimmt vom Sonnenaufgang bis zum Durchgang derselben durch den Meridian, also bis Mittag, beständig ab, von da aber bis zum Untergang wieder zu; der kürzeste Schatten fällt in die Mittagslinie. Um diese zu bestimmen, ermittelt man um die Zeit des Solstitiums vor und nach Mittag Schatten von gleicher Länge und erhält dann in der Halbierungslinie des Winkels, den dieselben einschließen, die gesuchte Linie. Ist der G. durch Angabe dieser Linie vervollständigt, so kann man an jedem Tag, wenn die Sonne scheint, die Zeit des Mittags finden als den Augenblick, in welchem der Schatten auf die Mittagslinie fällt, und gleichzeitig ergibt sich aus der Schattenlänge die mittägige Höhe der Sonne. Die ältesten derartigen Beobachtungen sind die des chinesischen Kaisers Tschukong, der um 1100 v. Chr. in Loyang, dem heutigen Honan-Fu, residierte. Nach dem Zeugnis des Jesuitenpaters Gaubil fand derselbe nämlich die mittägige Schattenlänge eines 8 chines. Fuß hohen Gnomons zur Zeit des Sommersolstitiums 1,54 Fuß, zur Zeit des Wintersolstitiums 13,12 Fuß. Nun sind der G. und sein Schatten die beiden Katheten eines rechtwinkeligen Dreiecks, und der Gegenwinkel des Gnomons ist der Höhenwinkel der Sonne. Nennen wir diesen u, so ergibt sich dem im Art. »Trigonometrie« Auseinandergesetzten zufolge und mit Benutzung der dort gegebenen Tabelle für das Sommersolstitium

$$\tan u = \frac{8}{1{,}54} = 5{,}1948,$$

$$\text{also } u = 79^\circ\, 6';$$

für das Wintersolstitium

$$\tan u = \frac{8}{13{,}12} = 0{,}6098,$$

$$\text{also } u = 31^\circ\, 22'.$$

Der halbe Unterschied dieser beiden Höhenwinkel gibt die Schiefe der Ekliptik zur damaligen Zeit $= 23^\circ\, 52'$. Die halbe Summe beider gibt dagegen die Äquatorhöhe des Beobachtungsorts $= 55^\circ\, 14'$, aus welcher sich durch Subtraktion von 90° die Polhöhe oder geographische Breite $34^\circ\, 46'$ ergibt.

Da wegen des den Kernschatten umgebenden Halbschattens die Bestimmung der Schattenlänge unsicher wird, so brachte man schon frühzeitig in dem obersten Teil des Gnomons eine kleine Öffnung an, durch welche Sonnenstrahlen auf den Boden fielen. Der Abstand des so erhaltenen Sonnenbildchens vom Fuß des Gnomons trat dann an die Stelle des Schattens. Diese Einrichtung war schon ein Halbjahrtausend vor Christo den Chinesen bekannt.

Der G. ist nicht bloß im Altertum und im Mittelalter, sondern auch noch in der neuern Zeit benutzt worden. 1468 stellte der Kosmograph Paolo Toscanelli in der Kuppel des Doms zu Florenz einen G. her, indem er in einer Höhe von 277 Fuß über dem Boden eine Platte mit einer Öffnung anbrachte, und Ignazio Danti richtete in ähnlicher Weise einen G. von 67 Fuß Höhe in der Kirche des heil. Petronius zu Bologna ein, den später Dom. Cassini erneuerte. Noch später errichteten Sully und Lemonnier in der Kirche St. Sulpice zu Paris einen 80 Fuß hohen G., an welchem der letztgenannte lange Zeit die Solstitialhöhen der Sonne beobachtete. Einer der letzten größern Gnomone ist der 1786 von Cesaris und Reggio in der Kathedrale zu Mailand eingerichtete. In neuerer Zeit sind diese Instrumente, deren Genauigkeit den Vergleich mit den heutigen astromischen Hilfsmitteln nicht aushält, vollständig aufgegeben worden.

Gnomonik, die Kunst, Sonnenuhren (s. d.) anzufertigen.

Godin (spr. -dång), Louis, franz. Astronom, geb. 28. Febr. 1704 zu Paris, gest. 10. Sept. 1760 in Cadiz; wurde mit der Herausgabe der »Connaissance des temps« betraut, nahm dann 1735 teil an der Gradmessungsexpedition nach Peru, von wo er erst 1751 nach Europa zurückkehrte, worauf er Direktor der Seekadettenschule in Cadiz wurde.

Goldne Zahl oder Güldne Zahl, die Zahl, welche angibt, das wievielste ein gegebenes Jahr im Mondzirkel ist. Sie gehört zu den in den Kalendern angegebenen chronologischen Merkmalen des Jahrs und wird für den Julianischen wie für den Gregorianischen Kalender übereinstimmend gefunden, indem man die um 1 vermehrte Jahreszahl mit 19 dividiert; der Rest ist die G. Z. Geht die Division ohne Rest auf, so ist 19 selbst die G. Z. Für 1882 hat man beispielsweise 1883:19=99, Rest 2, also G. Z. = 2. Sie wird benutzt zur Berechnung der cyklischen Neu- oder Vollmonde, worüber der Art. »Mondcyklus« zu vergleichen ist. Der Ursprung des Namens G. Z. ist nicht ganz sicher bekannt: Lalande und Bode leiten ihn davon her, daß diese Zahl früher an öffentlichen Stellen mit goldnen Ziffern angeschrieben worden sei; Ideler dagegen meint, die Kalenderschreiber des Mittelalters hätten sie mit goldner Tinte geschrieben.

Goldschmidt, Hermann, geb. 17. Juni 1802 zu Frankfurt a. M., gest. 10. Sept. 1866 in Fontainebleau; bekannt als Entdecker von 14 Planetoiden, war ursprünglich für den Handelsstand bestimmt, bildete sich aber unter Schnorr und Cornelius zum Historienmaler aus und lebte von 1836 an ein Jahrzehnt in Paris seiner Kunst. Um 1847 veranlaßte ihn ein populärer Vortrag, dem er beigewohnt, zur Anschaffung eines Fernrohrs, mit dem er nun von der hohen Mansarde seiner Wohnung aus fleißig den Himmel beobachtete und im November 1852 seinen ersten Planetoiden, die Lutetia, entdeckte.

Goodricke (spr. gudrick), John, engl. Esquire in York, gest. 20. April 1786, taubstumm, wurde von seinem Freund Pigott der Astronomie zugeführt, erkannte zuerst 1782 die Veränderlichkeit des Sterns β in der Leier und ermittelte etwa gleichzeitig mit Pahlitzsch die Periode des Algol, dessen Veränderlichkeit Montanari schon 1667 erkannt hatte.

Gould (spr. gohld), Benjamin Apthop, nordamerikan. Astronom, geb. 1824 zu Boston, nach Erbauung der Dudley-Sternwarte in Albany einige Jahre Direktor derselben, seit 1860 Direktor der Sternwarte zu Cordova in Argentinien.

Gouldsche Zeichen, in kleine Kreise eingeschlossene, die Reihenfolge der Entdeckung angebende Nummern zur Bezeichnung der Planetoiden.

Grad, der 90. Teil eines rechten Winkels oder eines Viertelkreises, vgl. Kreis und Winkel. Der G. wird durch eine ° bezeichnet, z. B. 16° = 16 G.

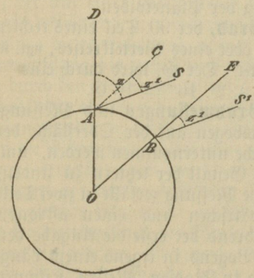
Gradmessungen sind Messungen von Kreisbogen auf der Oberfläche der Erde, welche unternommen werden, um Größe und Gestalt der letztern zu finden. Jede solche Messung zerfällt in zwei Teile, einen geodätischen und einen astronomischen. Während der erste die Angabe der Größe des Bogens in irgend einem Längenmaß, etwa in Stadien, Meilen, Kilometern rc., zum Ziel hat, umfaßt der astronomische Teil alle Operationen, durch welche die Größe des Bogens in Gradmaß und damit sein Verhältnis zum ganzen Kreisumfang festgestellt wird. Man könnte nun jeden beliebigen Kreis auf der Erdoberfläche zu dem angegebenen Zweck benutzen; indessen haben Rücksichten auf die Leichtigkeit und Sicherheit der Messungen bewirkt, daß man vorzugsweise auf Meridianen solche Messungen vorgenommen und erst in neuerer Zeit einige Parallelkreisbogen gemessen hat.

Meridiangradmessungen.

1) Um zunächst das Verfahren bei solchen Messungen in seinen Grundzügen zu erläutern, stelle der Kreis in Fig. 1 einen Meridian der als kugelförmig vorausgesetzten Erde vor; A und B seien zwei Punkte auf demselben und AB der zu messende Bogen. Der geodätische Teil der Arbeit, die Ermittelung der Entfernung von A bis B, wurde in den ältesten Zeiten bloß durch Schätzung aus der zum Zurücklegen dieser Strecke nötigen Zeit, später durch direkte Messung mit Maßstab oder Meßkette ermittelt; wir können daher vorläufig von weitern Auseinandersetzungen absehen. Was aber den astronomischen Teil anlangt, die Ermittelung der Größe des Bogens AB in Gradmaß oder des

Unterschieds der geographischen Breiten der Orte A und B, so kann diese erfolgen durch Messung der Zenithdistanzen, die ein und derselbe Stern zur Zeit seines Durchgangs durch den Meridian in A und

Fig. 1.



Gradmessung.

B hat. In Fig. 1 mögen A S und B S′ die von beiden Orten nach dem Stern im Augenblick seiner Kulmination gezogenen Linien sein, die wegen der großen Entfernung desselben parallel sind. Da ferner O D und O E die Vertikallinien beider Orte darstellen, so sind $D\hat{A}S = z$ und $E\hat{B}S' = z'$ die Zenithdistanzen des Sterns, und wenn man AC parallel zu BE zieht, so ist $C\hat{A}S = z'$ und also $D\hat{A}C = z - z'$. Dieser Winkel ist aber wegen des Parallelismus von AC und OE so groß wie AOB oder gleich dem Bogen AB in Gradmaß. Wir sehen also, daß der Meridianbogen AB gleich dem Unterschied der Zenithdistanzen des beobachteten Sterns ist. Weil Zenithdistanz u. Höhe sich zu 90° ergänzen, so ist dieser Bogen auch gleich dem Unterschied der Kulminationshöhen des Sterns.

Da man Zenithdistanzen und Höhen der Gestirne schon frühzeitig mit ziemlicher Genauigkeit zu messen verstand, so lag der Gedanke, mit Hilfe von Meridianbogenmessungen den Umfang der Erde zu ermitteln, sehr nahe, sobald man einmal von der Kugelform der Erde überzeugt war. Diese Lehre ist aber im klassischen Altertum zuerst von Pythagoras oder seinen Schülern aufgestellt worden, und es ist nicht ganz unwahrscheinlich, daß wir einem Pythagoreer, Archytas von Tarent, einem Zeitgenossen Platons, den ersten Versuch einer Bestimmung des Erdumfangs verdanken. Von ihm sagt der römische Dichter Horaz, er habe Meer und Erde gemessen, und vielleicht stützt sich auf ihn die Angabe des Aristoteles, daß nach den Berechnungen der Mathematiker der Erdumfang 400,000 Stadien betrage. Einen Einblick in das Verfahren bei diesen ersten Versuchen gewährt uns die Angabe des Kleomedes, eines Schriftstellers der römischen Kaiserzeit, der einer alten Schätzung des Erdumfangs mit den Worten gedenkt: »Denen, die in Lysimachia wohnen, steht der Kopf des Drachen über dem Scheitel, in Syene aber steht der Krebs im Zenith; der Raum zwischen Krebs und Drachen ist aber der 15. Teil des Meridians von Lysimachia und Syene, welche 20,000 Stadien voneinander entfernt sind. Der ganze Kreis enthält daher 300,000 Stadien.« Dieselbe Schätzung hat vielleicht auch der Mathematiker Archimedes (gest. 216 v. Chr.) im Sinn, wenn er erwähnt, man habe zeigen wollen, daß der Erdumfang 30 Myriaden Stadien betrage. Übrigens ist das Ganze sehr ungenau: die Städte Syene am obern Nil und Lysimachia auf der Dardanellenhalbinsel liegen nicht unter dem gleichen Meridian, ebenso kulminierten der Kopf des Drachen und der Krebs nicht gleichzeitig, die Zenithdistanz desselben betrug zur Zeit seiner Kulmination in Lysimachia nicht $1/15$ des Kreises oder 24°, sondern 30° oder $1/12$, und dagegen ist der Breitenunterschied beider Orte nur 18° oder $1/20$ des Kreisumfangs.

2) Die erste wirkliche Meridianmessung ist von einem alexandrinischen Gelehrten, dem Athenienser Eratosthenes (276—196 v. Chr.), ausgeführt worden. Derselbe maß in Alexandria die mittägige Zenithdistanz der Sonne zur Zeit der Sommersonnenwende an einer Skaphe und fand sie $1/50$ des Kreises (7° 12′); da er nun wußte, daß in dem 5000 Stadien weiter südlich gelegenen Syene die Sonne zur Zeit der Sommersonnenwende mittags bis auf den Grund eines tiefen Brunnens schien, also im Zenith stand, so schloß er,

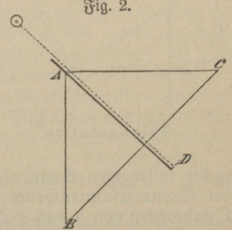
daß der Meridianbogen zwischen beiden Orten 1/50 des Erdumfangs, also letzterer selbst 250,000 Stadien, betrage. Trotzdem, daß die Meridiane beider Orte nicht zusammenfallen, sondern um fast 3 Längengrade differieren, daß der Breitenunterschied nur 7° 7′ beträgt und die Entfernung von 5000 Stadien nur nach der Zeit geschätzt ist, welche zur Zurücklegung des Wegs gebraucht wird, ist doch das Resultat ziemlich richtig. Denn da 40 Stadien auf eine geographische Meile gehen, so erhält man 6250 geogr. Meilen für den Erdumfang, was noch nicht um 1/6 größer ist als der richtige Wert von 5400 Meilen.

Außerdem kennen wir noch eine solche Bestimmung aus dem Altertum, die des Posidonius, eines Zeitgenossen des Pompejus. Derselbe bemerkte, daß der Stern Canopus zur Zeit seiner Kulmination in Alexandria um 1/48 des Kreises über dem Horizont stehe, auf Rhodus aber nur eben noch am Horizont sichtbar sei; da er nun für die Entfernung beider 5000 Stadien annahm, so erhielt er für den Erdumfang den Wert von 48·5000 = 240,000 Stadien oder 6000 geogr. Meilen. Als er später erfuhr, daß jene Entfernung von den Schiffern auf nur 4000 Stadien angegeben werde und von Eratosthenes zu 3750 Stadien gemessen worden sei, so setzte er für den Erdumfang 48·3750 = 180,000 Stadien oder 4500 Meilen, 1/6 weniger als den wahren Wert. Daher stammt die Angabe von 500 Stadien für die Länge eines Grades auf einem größten Kreis der Erde, die Ptolemäos macht.

Die nächste Gradmessung, von der wir Kunde haben, wurde 827 auf Befehl des Kalifen Al Mamun in der Ebene von Tadmor ausgeführt. Von einem Punkt aus ging ein Teil der ausführenden Astronomen nach N., der andre nach S., bis sie einen Grad an geographischer Breite gewonnen, beziehentlich verloren hatten, und maßen den zurückgelegten Weg mit Stäben. Diese Messungen wurden nachher auf der Ebene von Sindschar, nördlich vom Euphrat, wiederholt. Als Resultat ergaben sich 56⅔ arabische Meilen für den Meridiangrad. Leider haben wir von der Größe der arabischen Meile keine ganz bestimmte Kenntnis, und die Annahme, daß dieselbe 1042,2 Toisen und also der Meridiangrad jener Messung zufolge 59,058 Toisen habe, ist nicht sonderlich zuverlässig.

3) Im christlichen Abendland wurde erst nach dem Wiederaufblühen der Wissenschaften eine Gradmessung unternommen. Der französische Arzt Jean Fernel (1497—1558) bestimmte nämlich, wie er in seinem 1528 veröffentlichten Werk »Cosmotheoria« berichtet, einen Meridiangrad zwischen Paris und Amiens, indem er 25. Aug. 1525 auf der nahezu geradlinig beide Städte verbindenden Landstraße die Strecke von 1° durchfuhr und die Umdrehung der Räder seines Wagens zählte. Nach Abrechnung eines gewissen Betrags für Unebenheiten und Krümmungen des Wegs erhielt er 17,024 Umdrehungen zu 20 Fuß oder 56,747 damalige Toisen, was nach Lalande 57,070 spätern Toisen gleichkommt. Da die Toise = 6 Pariser Fuß = 1,949 m das klassische Maß für G. geworden, so wollen wir uns in diesem Artikel immer derselben bedienen. Den Breitenunterschied bestimmte Fernel durch Beobachtung der Kulminationshöhen der Sonne, wozu er ein rechtwinkeliges, gleichschenkeliges Dreieck

Fig. 2.



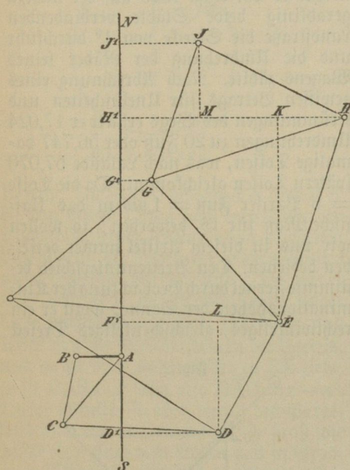
Fernels Instrument für Höhenwinkel.

von 8 Fuß Kathete (Fig. 2) benutzte, das er in der Ebene des Meridians so aufstellte, daß die Kathete AB vertikal stand. Die Hypotenuse trug eine Einteilung, und um den Scheitel A war ein Lineal drehbar, das bei A und D kleine durchbohrte Absehen (Diopter) zum Anvisieren der

Sonne trug. Trotz der geringen Zuverlässigkeit des Verfahrens ist das Resultat über Erwarten genau.

Gleich hier sei auch der Meridianmessung gedacht, welche 1733—35 der Engländer Richard Norwood zwischen London und York ausführte. Derselbe maß den Abstand beider Orte mit der Kette, dabei den Krümmungen des Wegs folgend und die Abweichungen vom Meridian mit der Bussole bestimmend. Durch Beobachtung der mittägigen Sonnenhöhe zur Zeit der Sommersonnenwende mittels eines Quadranten von 5 Fuß Halbmesser fand er den Breitenunterschied beider Orte 2° 28′ und erhielt für den Meridiangrad 367,196 engl. Fuß oder 57,300 Toisen.

Fig. 3.



Triangulation.

4) Bis jetzt war der geodätische Teil der Aufgabe durch direkte Messung der in Frage kommenden Strecke gelöst worden. Dabei muß der Maßstab sehr oft angelegt oder die Meßkette sehr oft ausgespannt werden, und da jede einzelne solche Operation mit einem wenn auch nur kleinen Fehler behaftet ist, so summieren sich diese Fehler im Resultat. Dazu kommen nun noch Unebenheiten und sonstige Schwierigkeiten des Terrains, auch wohl Abweichungen der gemessenen Linie vom Meridian, deren Einfluß sich nur schwierig genau berücksichtigen läßt. Durch alles dies wird das Gesamtergebnis ziemlich unzuverlässig. Ein ganz wesentlicher Fortschritt wird daher bezeichnet durch das von dem holländischen Mathematiker Willebrord Snellius angegebene und bei seiner zwischen Alkmar und Bergen op Zoom 1615—17 ausgeführten Gradmessung angewandte Triangulationsverfahren. Dasselbe beruht auf dem Satz, daß ein Dreieck bestimmt ist, wenn man eine Seite und die Winkel desselben kennt. Ist also ein Dreiecknetz gegeben, d. h. eine Reihe von Dreiecken von solcher Beschaffenheit, daß jedes einzelne mindestens mit einem vorhergehenden eine Seite gemeinsam hat, so braucht man in diesem Netz bloß eine einzige Linie und außerdem nur Winkel zu messen, um die Mittel zur Berechnung aller übrigen Stücke zu besitzen. In Fig. 3 ist ein solches Dreiecknetz gezeichnet, und wir wollen annehmen, es seien in sämtlichen Dreiecken die Winkel durch Messung gefunden (da alle drei Winkel eines Dreiecks zusammen 180° ausmachen, so braucht man nur zwei von ihnen zu ermitteln und findet dann den dritten durch Subtraktion ihrer Summe von 180°); außerdem soll noch die Länge der geraden Linie AB bekannt sein. Man berechnet dann im Dreieck ABC die Seite AC, hierauf in ACD die Seite AD, dann im Dreieck ADE die Seite DE, alsdann in DEF die Seite EF, nachher in EFG die Seite EG, nun im Dreieck EGH die Seite GH und zuletzt im Dreieck GHI die Seite HI. Auf diese Weise ist die gegenseitige Lage der Punkte A, B, C ꝛc. bis I, ohne daß man nötig hat, alle die verschiedenen Dreieckseiten zu messen, was wegen der Länge derselben und vielleicht auch wegen der Unebenheiten des Terrains aufhältlich und umständlich sein und kein zuverlässiges Resultat geben würde. Die einzige Linie, die in dem ganzen Netz gemessen wird, die Standlinie

oder Basis AB, kann man verhältnismäßig klein nehmen und auf einem Terrain wählen, wo sich die Messung leicht und sicher ausführen läßt. Die Messung der Winkel aber erfordert nur, daß man sich allemal im Scheitel eines Winkels, also im Eckpunkt eines Dreiecks, aufstellt, nach den beiden andern Eckpunkten visiert und den Winkel, den die beiden Visierlinien einschließen, auf einen geteilten Kreis abliest. Früher geschah das Visieren mit Hilfe eines Lineals, das um den Mittelpunkt des Kreises drehbar und mit Absehen ausgestattet war, heutigestags benutzt man dazu ein Fernrohr. Diese Messungen lassen sich verhältnismäßig sehr genau ausführen, und die kleinen Fehler, welche man dabei begeht, machen die Längen der Dreieckseiten weit weniger fehlerhaft, als eine direkte Messung sie geben würde. Die Triangulierung bringt aber für den hier in Rede stehenden Zweck einer Meridianmessung noch einen andern Vorteil. Bei dem ältern Verfahren mußten Anfangs- und Endpunkt des zu messenden Bogens auf demselben Meridian liegen, und auf diesem mußte dann die Messung vorgenommen werden. Das ist jetzt nicht mehr nötig, denn ist SN der durch A gehende Meridian, D der südlichste und J der nördlichste Punkt des Dreiecknetzes, so fälle man von D und J auf den Meridian die senkrechten Geraden DD' und JJ'; es ist dann $D'J'$ der Meridianbogen, dessen Größe in Gradmaß durch den Unterschied der geographischen Breiten von D und J angegeben wird. Nun kann man aber die Strecke $D'J'$ berechnen, sobald die Seiten der verschiedenen Dreiecke berechnet sind, wenn man die Basis AB orientiert, d. h. den Winkel $N\hat{A}B$ gemessen hat, den sie mit der Nordrichtung des Meridians einschließt. In der Figur sind noch die Linien EE' und HH' senkrecht zum Meridian, dagegen DL, EK und MJ parallel mit demselben gezogen; die Strecke $D'J'$ zerfällt daher in $D'E' = DL$, $E'H' = EK$ und $H'J' = MJ$. Aus den drei rechtwinkeligen Dreiecken DEL, EKH und HJM erhält man aber, dem im Art. »Trigonometrie« Gesagten gemäß, $DL = DE \cdot \cos E\hat{D}L$, $EK = EH \cdot \cos H\hat{E}K$ und $MJ = HJ \cdot \cos H\hat{J}M$; mithin ist

$$D'J' = DE \cdot \cos E\hat{D}L + EH \cdot \cos H\hat{E}K + HJ \cdot \cos H\hat{J}M.$$

Die drei Dreieckseiten setzen wir als aus der Triangulierung bekannt voraus; was aber die Winkel anlangt, so kann man sie mit Hilfe der gemessenen Winkel leicht finden. Es ist nämlich zunächst $E\hat{D}L = E\hat{D}A - L\hat{D}A$, der letztere Winkel ist aber so groß wie sein Wechselwinkel $D\hat{A}S$, und dieser ist gleich $N\hat{A}B + B\hat{A}C + C\hat{A}D - 180^0$. Damit ist EDL gefunden. Ferner ist $D\hat{E}L = 90^0 - E\hat{D}L$ $F\hat{E}E' = F\hat{E}D - D\hat{E}E'$ und $H\hat{E}K = H\hat{E}G + G\hat{E}F + F\hat{E}E' - KEE'$, d. h. $H\hat{E}K = H\hat{E}G + G\hat{E}F + F\hat{E}E' - 90^0$. Endlich ist $K\hat{H}E = 90^0 - H\hat{E}K$, $M\hat{H}J = E\hat{H}J - KHE$ und $HJM = 90^0 - M\hat{H}J$. Ganz ähnlich in andern Fällen. Bis jetzt haben wir bei unsern Auseinandersetzungen angenommen, daß unser ganzes Dreiecknetz in einer Ebene liegt. Wenn man nun, wie dies gewöhnlich geschieht, nur horizontale Winkel mißt und die Basis horizontal annimmt, so erhält man durch die Rechnung ein Dreiecknetz, das sich in der durch die Basis zu legenden Horizontalebene befindet, und dessen Eckpunkte senkrecht unter den wirklich anvisierten Punkten liegen. Für Messungen von geringem Umfang genügt nun dieses Netz mit geradlinigen Seiten in der horizontalen Ebene; bei größern Triangulationen aber, so wie sie zu ausgedehntern Meridianmessungen nötig sind, gibt dieses Verfahren nur näherungsweise richtige Resultate, und man muß die Krümmung der Erde in Betracht ziehen. Doch würde ein näheres Eingehen hierauf zu weit führen.

Um nun wieder auf Snellius zurückzukommen, so sei erwähnt, daß der von ihm gemessene Bogen ungefähr $1^1/_6{}^0$, seine Basis aber nur 1044 Fuß rhein. = 328 m betrug; als Resultat gab er für den Meridiangrad 55,100 Toisen an, was Musschenbroek später nach Beseitigung einiger Messungsfehler auf 57,033 Toisen brachte.

Weit ungenauer fiel eine später von den Jesuiten Riccioli und Grimaldi 1645 zwischen Bologna, Modena, Ferrara und

Ravenna ausgeführte Messung aus; obwohl die gemessene Standlinie 5472½ bologn. Fuß betrug, so ergab sich doch der Meridiangrad zu 62,650 Toisen, d. h. um 5000 Toisen zu groß.

5) Der erste, welcher die Snelliussche Methode erfolgreich in Anwendung brachte, ist der französische Astronom Jean Picard, mit dem überhaupt eine neue Periode der astronomischen Meßkunde beginnt, weil derselbe in Verbindung mit Auzout die zu Winkelmessungen dienenden Kreise mit einem Fernrohr mit Fadenkreuz versah und die Instrumentenfehler sorgfältiger zu bestimmen suchte. Picard maß 1669—70 in Sourdan bei Amiens und in Malvoisine, südlich von Paris, die Zenithdistanzen eines nahe am Zenith kulminierenden Sterns und fand 1° 22′ 55″ Breitenunterschied. Beide Orte wurden durch 35 Dreiecke untereinander und mit der 5663 Toisen langen, auf einer geradlinigen gepflasterten Straße zwischen Villejuive und Juvisy gelegenen Basis verbunden, deren Länge Picard mit zwei hölzernen, 2 Toisen langen Stäben ermittelte, die er einer ausgespannten Schnur entlang legte. Es ergaben sich dabei 57,060 Toisen für die Länge eines Meridiangrads.

Bis dahin hatte man stillschweigend angenommen, daß die Erdoberfläche, wie sie von dem Spiegel der Ozeane angedeutet wird, also abgesehen von den Erhebungen der Festländer und der Gebirge, eine Kugel sei. Indessen soll schon Picard Zweifel an der genau kugelförmigen Gestalt der Erde gehegt haben, und im letzten Viertel des 17. Jahrh. erhob sich ein ziemlich heftiger Streit um die wahre Gestalt unsers Planeten. Der niederländische Gelehrte Huygens machte darauf aufmerksam, daß die Erde früher, ehe ihre Kruste völlig erstarrt gewesen, infolge der Rotation um ihre Achse unter dem Einfluß der Zentrifugalkraft die Gestalt eines an den Polen abgeplatteten Sphäroids angenommen haben müsse, und zu demselben Ergebnis gelangte auch Newton; nur glaubte dieser, daß die Achse um $^1/_{229}$ kleiner sei als der Durchmesser des Äquators, während Huygens bloß $^1/_{587}$ fand. Eine Stütze fand diese Ansicht auch in dem Umstand, daß der Planet Jupiter eine Abplattung zeigt, die sogar bedeutend größer ist, entsprechend der kürzern Rotationszeit dieses Planeten, welche der ältere Cassini schon 1665 nachwies. Als ferner 1671 der französische Astronom Richer im Auftrag der Pariser Akademie nach Cayenne ging, um dort behufs Ermittelung der Sonnenparallaxe den Planeten Mars in seiner Opposition im Herbst 1672 zu beobachten, fand er, daß seine in Paris genau regulierte Uhr in Cayenne um volle 2 Minuten täglich zurückblieb, und daß das Sekundenpendel dort um $^5/_4$ Pariser Linien kürzer sei als in Paris. Newton sah darin mit Recht einen Beweis für die größere Wirkung der Zentrifugalkraft in niedern Breiten und damit eine Bestätigung für seine Theorie. Auch einfache Versuche konnte man zur Unterstützung derselben anführen. So macht Hooke darauf aufmerksam, daß ein Tropfen geschmolzenes Glas, den man mit der Glasbläserpfeife aufbläst, die Form einer Kugel annimmt; dreht man aber die Pfeife um ihre Achse, während die Glaskugel noch zähflüssig ist, so plattet sie sich deutlich ab.

Doch auch die entgegengesetzte Ansicht, daß nämlich die Erde eine in Richtung der Achse verlängerte Gestalt habe, wurde um dieselbe Zeit aufgestellt. So behauptete der englische Geistliche Josuah Childrey in seiner 1667 erschienenen »Geschichte der Naturmerkwürdigkeiten von England, Schottland und Wales« (engl.), daß die ursprünglich kugelförmige Erde durch die massenhaften Schneefälle an den Polen, die während des Sommers nicht wegschmelzen, eine Verlängerung in Richtung der Achse erhalten haben müsse, die beständig noch zunehme. Sein Landsmann Thomas Burnet aber suchte den Grund der verlängerten Form in der Drehung der Erde um ihre Achse. Wie er nämlich in der 1681 (in latein. Sprache) erschienenen »Heiligen Theorie der Erde« auseinandersetzt, denkt er sich, daß infolge des größern Wegs, welchen die Wasserteilchen in der Nähe des Äquators im Laufe von 24 Stunden zurücklegen müssen, die Bewegung des Wassers dort eine lebhaftere sei als in höhern Breiten; infolge derselben müsse das Wasser aus den tropischen Gegenden nach den ruhigern Regionen in der Nähe der Pole abfließen und sich dort anhäufen. Der Straßburger Arzt Joh. Kaspar Eisenschmidt (1656—1736) wollte sogar in seiner 1691 veröffentlichten »Abhandlung über die sphäroidische Form der Erde« aus den bis dahin bekannten G. den Nachweis führen, daß die Erde ein verlängertes Sphäroid sei.

6) Wie Meridiangradmessungen eine Entscheidung über die Gestalt der Erde, bestimmter über die Form der Meridiane geben können, erkennt man leicht aus folgenden Betrachtungen. Welche Form auch der Meridian haben mag, immer wird man einen kleinen Bogen desselben annähernd als einen Kreisbogen und die beiden in seinen Endpunkten errichteten Normalen als Halbmesser dieses Kreises betrachten können. Der Winkel, den diese Normalen einschließen, ist daher der zum Kreisbogen gehörige Zentriwinkel, er gibt also die Größe des Bogens in Gradmaß oder den Breitenunterschied zwischen seinen beiden Endpunkten an. Ein Kreis von kleinem Halbmesser hat nun die einzelnen Grade, d. h. die 360. Teile des Umfangs, kleiner als ein Kreis, dessen Halbmesser größer ist; ersterer ist aber stärker, letzterer weniger stark gekrümmt. Hat daher der Erdmeridian eine von der Kreisform abweichende Gestalt, so werden die Breitengrade, gemessen durch die Winkel, welche die Vertikallinien an den verschiedenen Punkten miteinander einschließen, am kleinsten da sein, wo die Krümmung am stärksten ist, am größten aber da, wo die geringste Krümmung vorhanden ist, wo also der Meridian am stärksten abgeplattet ist. Sollte also die Ansicht von Huygens und Newton richtig sein, so mußten die G. um so größere Werte für den Grad des Meridians ergeben, je weiter man nach N. ging, während umgekehrt, wenn die Erde eine in Richtung der Achse verlängerte Gestalt besitzt, die weiter nach S. liegenden Grade größer sein müssen. In der That glaubte der schon erwähnte Eisenschmidt eine solche Abnahme der Größe des Meridiangrads vom Äquator aus nach dem Pol hin nachweisen zu können; seiner Angabe nach hatte nämlich für 1° gefunden:

Eratosthenes	100	röm.	Meilen	in	27°	geogr.	Br.
Riccioli .	80	=	=	=	44,5	=	=
Picard . .	74	=	=	=	49	=	=
Fernel . .	73,5	=	=	=	49,5	=	=
Snellius .	77 1/3	=	=	=	52	=	=

Eisenschmidt suchte diesen Werten zu genügen, indem er der Erdachse die Länge von 10,890, dem Äquatorialdurchmesser aber eine von 8288 röm. Meilen beilegte. Es ist einleuchtend, daß die gegebenen Werte bis auf den Picardschen zu unzuverlässig sind, um die Frage, um welche es sich hier handelt, zu entscheiden.

Die englischen Gelehrten schlossen sich in der Mehrheit der Lehre Newtons an, und zumal als 1682 Varin, Deshayes und de Glos auf einer Expedition nach der Gorea-Insel beim Grünen Vorgebirge gleiche Erfahrungen wie Richer in Cayenne machten, galt es in England bei den meisten für ausgemacht, daß die Erde die Form eines abgeplatteten Rotationsellipsoids habe, daß also die Meridiane alle gleiche Ellipsen seien, welche die in die Erdachse fallende kleine Achse gemeinsam haben, während die große Achse ein Durchmesser des Äquators ist. Die Franzosen verhielten sich zunächst mehr ablehnend gegen diese Ansicht und hielten an der Hypothese einer kugelförmigen Gestalt der Erde fest. Als daher 1690 der entthronte König Jakob II. von England die Pariser Sternwarte besuchte und den anwesenden Akademikern gegenüber auf die Newtonsche Theorie zu sprechen kam, wurde ihm die Antwort zu teil, daß auch einige von ihnen früher die Erde für abgeplattet gehalten, wie Jupiter, daß aber der kreisrunde Schatten der Erde auf dem Mond bei Mondfinsternissen das Irrige dieser Ansicht darthue.

7) Schon Picard hatte den Wunsch gehegt, daß seine Gradmessung weiter ausgedehnt würde, und dem entsprechend veranlaßte die Pariser Akademie eine Fortsetzung derselben nördlich bis Dünkirchen und südlich bis Collioure, so daß der ganze Bogen $8^1/_3{}^\circ$ umfaßte. Die Arbeiten begannen 1683, Lahire übernahm den nördlichen, Dom. Cassini den südlichen

Teil; die Messungen in diesem südlichen Teil wurden später von Jacques Cassini fortgesetzt und vollendet. Als 1718 die Arbeiten beendet waren, stellte sich, entgegen der Newtonschen Theorie, die Größe eines Meridiangrads nördlich von Amiens zu 56,960 Toisen, dagegen südlich von Paris zu 57,097 Toisen heraus. Die Folge davon war, daß die Franzosen fortan die Erde als ein in Richtung der Achse verlängertes Sphäroid betrachteten, während die englischen Gelehrten Zweifel gegen die Richtigkeit und Zuverlässigkeit der Messungen in Frankreich erhoben. Der hierüber eine längere Reihe von Jahren hindurch und teilweise mit ziemlicher Erbitterung geführte Streit fand erst in den 30er Jahren des vorigen Jahrhunderts seinen Abschluß.

Nachdem man nämlich erkannt hatte, daß angesichts der Unsicherheit derartiger Arbeiten nur durch Vergleichung von Messungen in sehr hohen Breiten und in der Nähe des Äquators eine Entscheidung herbeigeführt werden könne, veranstaltete die französische Regierung zwei Expeditionen, von denen die eine nach Lappland, die andre nach dem tropischen Amerika ging, um dort Meridianbogen zu messen.

An der Spitze der lappländischen Expedition stand der Akademiker Maupertuis, dem noch Clairaut, Camus, Lemonnier und Outhier beigegeben waren; als Freiwilliger schloß sich noch Celsius aus Upsala an. Die Expedition ging 1736 ab und begann ihre Arbeiten 6. Juli d. J. in der Nähe von Tornea am Bottnischen Meerbusen. Rasch wurde ein Dreiecknetz nordwärts in einer Ausdehnung von 57′ 27″ im Sinn des Meridians gelegt, dann im Winter bei grimmiger Kälte und tiefem Schnee auf dem zugefrornen Torneafluß eine Grundlinie von 7408 Toisen 5 Fuß gemessen, und schon im nächsten Frühjahr hatte man das Resultat, daß 1° in der mittlern Breite von 66° 20′ die Größe von 57,438 Toisen habe, also erheblich größer sei als in Frankreich. Am 13. Nov. 1737 teilte Maupertuis der Pariser Akademie dieses Ergebnis mit, und nun war auch in Frankreich kein Zweifel mehr darüber, daß die Erde an den Polen abgeplattet sei. Veranlaßt durch den beißenden Spott Maupertuis', unternahmen auch die Pariser Astronomen Cassini de Thury und Lacaille in den nächsten Jahren (1739 und 1740) eine Revision der Gradmessung in Frankreich, durch welche das der Theorie widersprechende Resultat, daß südlich von Paris der Meridiangrad größer sein sollte als weiter nördlich, beseitigt und für den Grad in 45° mittlerer Breite die Größe von 57,012 Toisen erhalten wurde.

Während so Maupertuis sich des Triumphs erfreute, eine lange schwebende Frage zur Entscheidung gebracht zu haben, war die südamerikanische Expedition noch immer mit ihren Arbeiten beschäftigt. An ihr beteiligten sich die französischen Akademiker Bouguer und La Condamine und der Astronom Godin sowie die beiden spanischen Offiziere Don Jorge Juan y Santacilia und Don Antonio de Ulloa; als Botaniker ging Joseph Jussieu mit, ein älteres Mitglied der berühmten Botanikerfamilie. Nachdem sie 16. Mai 1735 Europa verlassen hatten, erreichten sie über Panama 13. Juni des nächsten Jahrs Quito, ihr Hauptquartier. Die Messungsarbeiten in dem unebenen Hochland zwischen den beiden Kämmen der Anden waren mit großen Schwierigkeiten verbunden, wurden aber mit ungleich größerer Umsicht und Sorgfalt ausgeführt als bei der lappländischen Gradmessung. Im Herbst 1736 (3. Okt. bis 3. Nov.) wurde in der Nähe von Quito eine erste Basis von 6272 Toisen gemessen, drei Jahre darauf (im August 1739) auf der Ebene von Tarqui, am Südende der Dreieckskette, eine Prüfungslinie von 6272 Toisen, deren gemessene Länge mit der aus dem Dreiecknetz berechneten nach Bouguer auf 3—4 Fuß, nach La Condamine bis auf 1 Toise übereinstimmte. Das ganze Dreiecknetz erstreckte sich von einem Punkt bei Cotschesqui, wenige Bogenminuten nördlich vom Äquator, in einer meridionalen Ausdehnung von 3° 7′ 1″ nach S. Als Endergebnis stellte sich die Größe des Meridiangrads in Peru für 1° 31′ mittlerer südlicher Breite zu 56,734 Toisen heraus.

Dies war aber nicht das einzige Resultat der peruanischen Expedition, vielmehr war dieselbe außerordentlich reich an Ergebnissen für die Wissenschaft. So wurden insbesondere eine größere Anzahl Höhenmessungen, Bestimmungen der Deklination und Inklination der Magnetnadel sowie der Länge des Sekundenpendels vorgenommen. Von Interesse ist auch der allerdings nicht entscheidende Versuch, den Bouguer 1738 machte, die durch den Chimborazo bewirkte Lotablenkung zu messen. Godin entdeckte die regelmäßigen täglichen Schwankungen des Barometers. Auch waren die Gelehrten Zeugen der Ausbrüche des Vulkans Cotopaxi 1738 und 1742. Erst spät (La Condamine im Februar 1745, nachdem er den Amazonenstrom abwärts nach Para gefahren war) kamen die Teilnehmer der Expedition in die Heimat zurück, wo Bouguer in seinem Werk »Figure de la terre« (1749), La Condamine in seiner »Voyage à l'équateur« (1751) Bericht über die ausgeführten Arbeiten erstatteten.

Aus der Vergleichung der peruanischen mit der revidierten französischen Gradmessung ergab sich die Abplattung der Erde zu $\frac{1}{200}$, d. h. die Achse um den 200. Teil kleiner als der Äquatordurchmesser; beträchtlich größer war der Wert, welchen man bei Berücksichtigung der Maupertuisschen Messung erhielt.

8) Es dürfte jetzt am Platze sein, in Kürze anzugeben, auf welche Weise man aus Messungen eines Bogens von 1^0 die Größe der Abplattung berechnen kann. Wir setzen dabei die Meridiane der Erde als gleichgroße Ellipsen (vgl. Ellipse) voraus, deren gemeinschaftliche kleine Achse 2 b die Erdachse ist, während die großen Achsen, alle von gleicher Länge 2 a, die Durchmesser des Äquators bilden; mit andern Worten: wir setzen die Erde als ein abgeplattetes Ellipsoid oder Sphäroid voraus. Wenn nun die Abweichung der Meridianellipse vom Kreis nicht bedeutend ist, so kann man einen Bogen von 1^0 als einen Kreisbogen ansehen, dessen Halbmesser der Krümmungshalbmesser für die Mitte des Bogens ist. Bezeichnet man aber die Breite in der Mitte des Bogens mit φ, so ist der im Art. »Ellipse« gegebenen Formel zufolge dieser Krümmungshalbmesser

$$\varrho = \frac{a\,(1-e^2)}{\sqrt{1-e^2\sin^2\varphi}^{\,3}};$$

der Bogen von 1^0 wird dann erhalten, wenn man diesen Wert mit $\pi = 3{,}1415927$ multipliziert und mit 180 dividiert. Haben wir nun für die mittlern Breiten φ und φ_1 die Größen l und l_1 des Meridiangrads gemessen, so verhalten sich diese wie die zugehörigen Radien, weil sich der Faktor $\frac{\pi}{180}$ weghebt. Von den Radien hebt sich aber noch der Faktor $a(1-e^2)$, so daß sich

$$\frac{l_1}{l} = \frac{\sqrt{1-e^2\sin^2\varphi}^{\,3}}{\sqrt{1-e^2\sin^2\varphi_1}^{\,3}}$$

ergibt. Aus dieser Gleichung erhält man für die Exzentrizität e die Formel

$$e^2 = \frac{1-\left(\frac{l_1}{l}\right)^3}{\sin^2\varphi - \left(\frac{l_1}{l}\right)^3\sin^2\varphi}.$$

Um daraus die Abplattung

$$\alpha = \frac{a-b}{a}$$

zu finden, muß man sich erinnern, daß der Polarhalbmesser

$$b = a\sqrt{1-e^2}$$

ist. Dies gibt für die Abplattung die Formel

$$\alpha = 1 - \sqrt{1-e^2},$$

welche in Verbindung mit der oben stehenden Formel für e^2 das Gewünschte liefert.

9) Auf die entscheidenden Arbeiten der französischen Akademiker folgten nun im vorigen Jahrhundert eine Reihe von G., die sämtlich den Zweck verfolgten, die Größe der Abplattung unsers Planeten schärfer festzustellen.

Der französische Astronom Lacaille ging 1750 nach dem Kap der Guten Hoffnung, um dort Beobachtungen zur Bestimmung der Mondparallaxe auszuführen (vgl. Parallaxe), und maß bei dieser Gelegenheit auch einen Meridianbogen, wodurch er 1^0 in $33^0\ 18'$ südl. Br. gleich 57,037 Toisen erhielt. Er zog daraus den Schluß, daß die Krümmung der Meridiane auf der Südhalbkugel einem andern Gesetz folge als auf der nördlichen; indessen hat die Wiederholung dieser Messung durch Maclear 1842—48 den Wert von 56,732,4 Toisen ergeben, was mit dem Grad in gleicher Breite auf der Nordhalbkugel nahe übereinstimmt.

Auf Anordnung des Papstes Benedikt XIV. maßen ferner die Jesuiten Boscovich und Le Maire 1751—53 auf der Via Appia einen Bogen von ungefähr 2° und erhielten für 1° unter 43° mittlerer Breite 56,979 Toisen.

Joseph Liesganig maß 1759—68 zwei kleinere Meridianbogen in Ungarn und Österreich und fand in Österreich den Grad unter 48° 13′ = 57,086 Toisen, in Ungarn unter 45° 47′ = 56,881 Toisen.

Beccaria und Canonica maßen 1764 in der Nähe von Turin einen Bogen und erhielten 57,069 Toisen für 1° unter 44° 41′.

In Amerika fanden Mason und Dixon 1764 durch eine gelegentlich einer Grenzregulierung zwischen Maryland und Virginia vorgenommene Messung den Meridiangrad unter 39° 12′ = 56,888 Toisen.

Ferner führten Reuben und Burrow 1790 und 1791 eine Gradmessung in Bengalen aus, wobei sich der Meridiangrad in 23° 18′ mittlerer Breite zu 56,725 Toisen ergab.

Auch ist hier der Operationen zu gedenken, welche 1787 in Frankreich und England ausgeführt wurden, um die Entfernung der Meridiane von Paris und Greenwich zu ermitteln, und an denen sich die Franzosen Cassini, Méchain und Legendre sowie der englische General Roy beteiligten.

Diese Messungen wurden später von Mudge bis zu einem Bogen von 3° fortgesetzt und in neuerer Zeit in Verbindung mit der allgemeinen Triangulation Großbritanniens bis an die äußersten Grenzen des Reichs verlängert. Der größte Meridianbogen dieser Triangulation reicht von Dunnose auf der Insel Wight bis Saxavord auf den Shetlands-Inseln und hat eine Ausdehnung von 10° 12′ 31,4″. In Verbindung mit dem bald zu erwähnenden französischen Bogen gibt dies einen Meridianbogen von über 22°, der von der Balearischen Insel Formentera bis zu den Shetlands-Inseln reicht.

Ferner mag, der Zeitfolge vorauseilend, gleich hier die auf Melanderhjelms Anregung 1801—1803 unter Svanbergs Leitung ausgeführte Nachmessung des lappländischen, bis 1° 37′ 19,6″ von Malörn bis Pahtawara verlängerten Meridianbogens Erwähnung finden, welche das Resultat 57,196 Toisen für 1° ergab. Damit war die Übereinstimmung dieses Bogens mit den übrigen Messungen hergestellt. Nicht ohne Interesse ist endlich die Thatsache, daß schon am Anfang des vorigen Jahrhunderts in China eine Gradmessung ausgeführt wurde. Auf Befehl des Kaisers Camby maß nämlich 1702 der Jesuit Thomas unter Beteiligung eines kaiserlichen Prinzen einen Meridianbogen in der Gegend von Peking. Da aber die benutzten Maßeinheiten nicht genau bekannt sind, so ist das Ergebnis ohne Bedeutung für uns.

10) Alle frühern G. wurden in Schatten gestellt durch die im letzten Jahrzehnt des vorigen Jahrhunderts auf Betrieb der französischen Nationalversammlung unternommene und 1808 beendigte. Die Veranlassung gab ein 1790 von Talleyrand in der französischen Nationalversammlung gestellter Antrag, der verwirrenden Mannigfaltigkeit der Maße und Gewichte in den alten Provinzen Frankreichs durch ein einheitliches Maß- und Gewichtssystem für ganz Frankreich ein Ende zu machen. Die Pariser Akademie, welche mit den zu diesem Zweck nötigen Arbeiten betraut wurde, setzte eine Kommission nieder, der die bedeutendsten französischen Astronomen und Physiker, Lagrange, Laplace, Borda, Monge, Condorcet, Delambre, Prony, Méchain, angehörten. Als Längeneinheit wurde von vielen Seiten die Länge des Sekundenpendels gewünscht, die schon Huygens 1673 zu diesem Zweck vorgeschlagen hatte, und für welche später Bouguer und La Condamine sowie noch 1791 Cotte eintraten. Dieser Gedanke ist später in England zur Ausführung gekommen, indem das 1824 durch Parlamentsbeschluß eingeführte Standard-Yard der Länge des einfachen Sekundenpendels in London gleichkommen soll. In Frank-

reich trug aber eine andre, namentlich von Laplace und Borda verfochtene Idee den Sieg davon, und die Pariser Akademie schlug im März 1791 als Längeneinheit den zehnmillionsten Teil des durch Paris gehenden Erdquadranten und eine auf das Gewicht der Volumeneinheit destillierten Wassers basierte Gewichtseinheit vor. Dieser Vorschlag erhielt die Genehmigung der Nationalversammlung, und es wurden nun Méchain und Delambre mit der Nachmessung des früher bestimmten Meridianbogens von Dünkirchen bis Perpignan und seiner Fortsetzung bis Barcelona beauftragt. Vielfach durch die Wirren der Revolutionszeit gehemmt, wurden die Messungen erst am Anfang dieses Jahrhunderts beendigt; Méchain aber wünschte die Gradmessung noch bis zu den Balearischen Inseln fortzusetzen und ging 1803 deshalb abermals nach Spanien, wo er aber schon 1804 starb. Nach seinem Plan wurde die Arbeit nach zweijähriger Unterbrechung von Biot und Arago wieder aufgenommen, die mit Überwindung großer Schwierigkeiten 1806—1808 die Messungen bis Formentera ausdehnten. Es wurde so ein Bogen von 12° 22′ 13,4″ und 705,257 Toisen Gesamtlänge erhalten.

Die politischen Machthaber mochten indessen mit der Einführung des neuen Maß- und Gewichtssystems nicht warten, bis diese umständlichen Messungen vollendet waren, und so beschloß denn der Konvent 18. Germinal des Jahrs III (7. April 1793) auf Antrag des Genieoffiziers Prieur, die neue Längeneinheit unter dem Namen Meter vorläufig auf 443,443 Linien der Toise du Pérou festzusetzen. Diese Zahl bildete den zehnmillionsten Teil des Erdquadranten, wie er aus der von Lacaille 1740 vollendeten Messung des Meridianbogens Dünkirchen-Collioure abgeleitet worden. Die wahre Grundlage des neuen Maßsystems bildete also die Toise du Pérou, »die peruanische Toise«, so genannt, weil als Normalmaßstab der eiserne Maßstab diente, der bei der peruanischen Gradmessung benutzt worden war und bei +13° Réaumur die wahre Länge der Toise zu 6 Fuß zu 12 Zoll zu 12 Linien angab. Dieser Maßstab sowie der bei der lappländischen Gradmessung unter Maupertuis benutzte, der aber nicht unverletzt erhalten wurde, war nach der Toise abgeglichen, die man 1668 zum öffentlichen Gebrauch in eine Treppenstufe des Pariser Chatelet (Justizpalast) eingelassen hatte. Später ward eine internationale Kommission, in welcher unter andern Tralles, Mascheroni, van Swinden saßen, einberufen, um die Grundlagen des neuen Systems nochmals zu prüfen, und unter Berücksichtigung der neuern Messungen wurde durch Gesetz vom 6. Messidor des Jahrs VII (25. Juni 1800) die Länge des Meters endgültig auf 443,296 Pariser Linien = 0,513074 Toisen festgesetzt.

Bei Einführung des neuen Maßsystems wollte man die früher herrschend gewesene Willkür vermeiden und ein sogen. Naturmaß, d. h. eine von der Natur selbst gegebene und daher immer wieder sicher bestimmbare Einheit, zu Grunde legen. Der Erfolg hat gezeigt, daß man dieses Ziel nur unvollkommen erreicht hat, worüber man sich nicht wundern darf, wenn man bedenkt, daß unsre Kenntnis einer durch die Natur gegebenen Länge, wenn auch diese selbst ungeändert bleibt, doch stets abhängig ist von dem Maß der Geschicklichkeit der Beobachter sowie von dem Stande der Entwickelung der Meßkunst und der Rechnungsmethoden, der Güte der Instrumente u. dgl. So hat denn auch Bessel 1841 gefunden, daß die Länge des Erdquadranten nicht 5,130,740 Toisen ist, wie bei der Bestimmung des Meters angenommen wurde, sondern 5,131,179,81 Toisen, und daß daher der Quadrant in Wahrheit 10,000,856 m hat.

11) Aus dem 19. Jahrh. erwähnen wir zunächst die zweite ostindische Gradmessung. 1802 maß Oberst Lambton einen Bogen von 1° 34′ 56,4″ zwischen Trivandeporum in 11° 44′ 53″ nördl. Br. und Pandrin (13° 19′ 49″ nördl. Br.). Schon 1805 begannen neue Messungen, die später vom Obersten Everest bis zu einer Ausdehnung von 21° 21′ 16″, von Punnä (8° 9′ 32 nördl. Br.) bis Kaliana (29° 30′ 48″ nördl. Br.) fortgesetzt wurden. 1872—77 wurden unter Leitung des Obersten Walker eine Anzahl

neuer Bogen gemessen sowie auch die Messungen Lambtons in Südindien revidiert. Auf diese Weise ist der ostindische Bogen zu einer Ausdehnung von 24° erweitert worden.

12) Im zweiten Jahrzehnt dieses Jahrhunderts wurde die größte aller bisherigen Meridiangradmessungen, die russisch-skandinavische, in Angriff genommen. Die erste Idee einer Gradmessung in den westlichen Provinzen Rußlands gehört dem vorigen Jahrhundert an. Um dieselbe Zeit, als die Pariser Akademie behufs Ermittelung der Gestalt der Erde zwei Expeditionen nach Peru und Lappland aussandte, schlug auch der erste Astronom der Petersburger Akademie, der Franzose de l'Isle, eine Gradmessung in der Gegend von Petersburg vor. Er maß auch 1737 eine Grundlinie auf dem Eis zwischen Kronstadt und Peterhof und verband sie 1739 durch Dreiecke mit einigen benachbarten Punkten. Damit erreichte das Unternehmen damals sein Ende. Erst 1816 wurden dem Kaiser Alexander I. fast gleichzeitig durch den Akademiker Wilhelm Struve, damals Professor in Dorpat, und den Obersten (später General) Tenner Vorschläge zu einer Gradmessung gemacht, welche Genehmigung fanden, so daß Tenner schon im nächsten Jahr die Arbeiten beginnen konnte. Bis 1832 maß derselbe den zwischen Bristen in Kurland und Belin im Gouvernement Grodno gelegenen Bogen von 4½°, Struve aber führte mit Unterstützung des damaligen Marineleutnants (nachmaligen Generals) W. v. Wrangell die Messung eines Bogens von 3½° zwischen Jakobsstadt an der Düna bis zur Insel Hochland im Finnischen Meerbusen aus. Die astronomische Verbindung beider Messungen in den Jahren 1828—30 lieferte einen einzigen Bogen von 8° 2′ 28,9″ Ausdehnung. Von 1832 an wurden die Messungen in Finnland, anfangs durch die Generalstabsoffiziere Oberg und Melan, nachher meist durch Woldstedt, den nachmaligen Direktor der Sternwarte in Helsingfors, ausgeführt, und nach Überwindung großer, durch die Bodenbeschaffenheit verursachter Hindernisse gelangte man 1845 bis Tornea; es war nunmehr ein Bogen von 13° 49′ gemessen. Inzwischen hatte Struve im Sommer 1844 den Anschluß Schwedens an das Unternehmen erwirkt, und es wurde in den folgenden Jahren bis 1852 ein schwedischer Bogen unter Leitung des Direktors der Stockholmer Sternwarte, Selander, und (bis 1850) ein norwegischer unter Hansteens, Professors in Christiania, Leitung gemessen. Die Verbindung der skandinavischen Messung mit der finnländischen wurde 1852 durch die Pulkowaer Astronomen Lindhagen und Wagner vermittelst einer eignen Dreieckmessung bewirkt. In der Zeit von 1844—53 wurde auch die südliche Fortsetzung des Bogens mit erneuter Energie betrieben, und 1850 erreichte die Dreieckskette die Donau.

Die ganze russisch-skandinavische Gradmessung erstreckt sich von Ismail an der Donau bis Fuglenaes bei Hammerfest auf Kval-Ö, einer Insel des Nördlichen Eismeers; der Meridianbogen hat eine Ausdehnung von 25° 20′ 8,2″, und seine Länge beträgt nach Struves Rechnung 1,447,786,78 Toisen. Das die Endpunkte verbindende Dreiecknetz enthält 259 Dreiecke (225 russische und 34 skandinavische), und es sind im ganzen 10 Grundlinien gemessen worden. Außerdem zerfällt der Bogen durch 13 nahezu gleichmäßig verteilte, astronomisch genau bestimmte Punkte in zwölf Teilbogen. Diese Punkte sind:

	nördl. Breite	Größe des Teilbogens
Fuglenaes	70° 40′	
Stuora-Oiwi	68 40	2° 0′
Tornea	65 51	2 49
Hongamäki	62 57	2 54
Hochland	60 5	2 52
Dorpat	58 23	1 42
Jakobsstadt	56 30	1 53
Nemesh	54 39	1 51
Belin	52 2	2 37
Kremenez	50 6	1 56
Suprunkowzi	48 44	1 22
Wodolui-Wodi	47 1	1 43
Ismail	45 20	1 41

Dieses Dreiecknetz ist außerdem durch die Triangulation des Königreichs Polen mit den preußischen und österreichischen Vermessungen sowie anderseits mit den im Innern Rußlands vorgenommenen Aufnahmen verbunden worden, so daß ein ununterbrochenes Dreiecknetz von der Wolga und dem Kaspischen Meer bis zum Atlantischen Ozean reicht. Unter den vielerlei Resultaten, die sich aus diesen Messungen ergeben haben, ist das besonders interessant, daß die durch sie verbundenen Meeresteile, das Schwarze Meer, die Ostsee und das Eismeer, in demselben Niveau stehen, d. h. der Oberfläche desselben Ellipsoids angehören. Durch den Anschluß an die österreichische Triangulation hat sich herausgestellt, daß auch das Adriatische Meer dasselbe Niveau hat.

13) Außer dieser großen Gradmessung sind noch einige kleinere, aber mit besonderer Sorgfalt ausgeführte Breitengradmessungen zu erwähnen. Es sind dies die von *Gauß* in Hannover zwischen Göttingen und Altona 1821—24 und die ungefähr gleichzeitig von *Schumacher* zwischen Lauenburg und Lyssabel ausgeführte, von denen die erstere 2° 0′ 57,4″, die letztere 1° 31′ 53,3″ umfaßt, sowie die in den 30er Jahren von *Bessel* in Verbindung mit dem Major (spätern General) *Bäyer* in Ostpreußen zwischen Trunz und Memel vorgenommene, die einen Bogen von 1° 30′ 29″ umfaßt. An sie schloß sich nachher die Küstenvermessung in der Ostsee durch *Bäyer*.

Längengradmessungen.

14) Wenn die Erdoberfläche ein Ellipsoid ist, welches man sich durch Umdrehung einer Ellipse mit der halben Hauptachse a und der Exzentrizität e um die Nebenachse erzeugt denken kann, so hat der Parallelkreis von der Breite φ den Radius

$$\frac{a \cos\varphi}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2\varphi}}$$

(vgl. Ellipse). Hat man nun in verschiedenen Breiten Parallelkreisbogen gemessen, und sind die Längenunterschiede ihrer Endpunkte bekannt, so daß man weiß, wieviel Grad ein jeder umfaßt, so kann man ihre Radien finden (vgl. Kreis), und wenn man jeden gleich einem Ausdruck von der obigen Form setzt, in welchem φ bekannt ist, so erhält man zwei Gleichungen, aus denen sich die Größen a und e berechnen lassen. Auch eine einzelne derartige Messung kann in Verbindung mit einer Breitengradmessung zu diesem Zweck benutzt werden, und ebenso läßt sich bei einer solchen Messung prüfen, ob die einzelnen Grade auf demselben Parallel gleiche Größe haben, wie es sein muß, wenn die Erdoberfläche wirklich die Gestalt eines Rotationsellipsoids besitzt.

Solche Messungen von Längengraden sind nun früher nicht vorgenommen worden, weil man kein Mittel zur genauen Bestimmung des Unterschieds der geographischen Länge zweier Orte besaß. Die erste dieser Messungen ist die 1733 und 1734 von *Cassini de Thury* und *Maraldi* auf dem Parallel von Paris ausgeführte, auf welche Messungen auf den Parallelen von Straßburg und Brest folgten. 1740 maßen ferner *Cassini de Thury* und *Lacaille* einen Bogen von 1° 53′ 9″ zwischen St. Claire bei Cette und dem Mont St. Victoire bei Aix. Bei diesen Messungen wurden die Längendifferenzen durch Pulversignale bestimmt. Die Ergebnisse waren indessen ungenügend, und dies gilt auch von den in Ostindien von *Burrow* unter 23° 18′ nördl. Br. und von *Lambton* unter 12° 32′ 30″ unternommenen Längengradmessungen.

15) Die erste derartige Arbeit von wissenschaftlichem Wert ist die 1811 in Frankreich unternommene. Gleich nach Vollendung der großen Meridiangradmessung wurde der eben von Formentera zurückgekehrte *Biot* mit *Mathieu* nach verschiedenen Punkten des Parallels von 45° geschickt, um durch Pendelbeobachtungen die Intensität der Schwere zu bestimmen. Es ergaben sich dabei so große Verschiedenheiten, daß dieselben unmöglich den Beobachtungsfehlern beigemessen werden durften; vielmehr sah man sich zu der Annahme genötigt, daß hier Abweichungen der Erde von der regelmäßigen Gestalt vorliegen, und um diese näher zu bestimmen, wurde auf Laplaces Vorschlag die Messung eines Bogens auf dem 45. Parallel von Bordeaux im W. bis Fiume im O. beschlossen. Die westliche Sektion, zwischen Bordeaux und Genf, ward 1811 vom Obersten *Brousseau* in Angriff genommen, die östliche, von Genf bis Fiume, wurde dem Obersten *Henry* übertragen. Die kriege-

rischen Ereignisse der folgenden Jahre verzögerten aber die Arbeiten, und erst 1818—20 konnte Brousseau das Dreiecknetz von der Mündung der Gironde von Tour de Corduan bis an die savoyische Grenze vollenden. Der östliche Teil aber wurde von Offizieren des österreichischen und sardinischen Generalstabs unter Mitwirkung der Astronomen Carlini und Plana 1823 zu Ende geführt. Auch die Schweizer Pictet und Gautier beteiligten sich dabei, und 1824 ging der französische Akademiker Biot nach Oberitalien, um in Mailand, Padua und Fiume die Intensität der Schwere mit dem Pendel zu bestimmen. Sowohl durch die Längengradmessungen als durch die Bestimmungen der Schwerkraft wurde die schon früher vermutete Abweichung von der regelmäßigen Form der Erde in diesen Gegenden bestätigt. Der ganze Parallelkreisbogen von fast 13° von Marennes bis Padua zerfiel durch sieben astronomisch bestimmte Punkte in sechs Teile. Dabei ergab sich nun zwischen zweien dieser Punkte der Grad zu 77,792 m, zwischen zwei andern zu 77,985 m und im Mittel aus allen sechs Teilen zu 77,863 m. Bei einer in Verbindung mit der Längengradmessung von Carlini und Plana auf der Südseite der Alpen vorgenommenen Bestimmung eines Breitengrads ergab sich derselbe zu 57,687 Toisen, während er den übrigen G. zufolge 57,013 Toisen hätte betragen sollen, welcher Umstand zur Annahme einer Ablenkung des Bleilots um 42,5″ nötigte.

Eine andre Längengradmessung, welche die Obersten Henry und Bonne 1818 bis 1823 zwischen Brest und Straßburg ausführten, ist wegen ungenügender Längenbestimmung resultatlos geblieben.

In Großbritannien wurden bei Gelegenheit der allgemeinen Landestriangulation mehrere Parallelkreisbogen gemessen; namentlich hat Airy eine derartige Messung ausgeführt, die von der Westküste Irlands (Valentia) bis Greenwich reicht. Die Größe eines Grades auf dem Parallelkreis von 51° 40′ Breite ergab sich dabei zu 57,226,83 Toisen, was fast ganz mit der Besselschen Bestimmung, 57,226,25 Toisen, übereinstimmt.

Endlich ist noch die größte aller Längengradmessungen zu erwähnen, zu welcher der russische Astronom Wilhelm v. Struve 1857 den Plan entwarf. Diese Messung reicht unter 52° Breite von Orsk im russischen Gouvernement Orenburg bis Valentia an der Westküste von Irland und umfaßt einen Bogen von fast 63°, wovon auf Rußland und Polen 39°, auf Deutschland 12°, auf Belgien 5° und auf England 5° kommen. Die Stationen liegen etwa 5° voneinander entfernt, und ihre Längendifferenzen sind durch elektrische Zeitsignale bestimmt. Die Veröffentlichung der Resultate steht bevor.

Resultate.

16) Aus diesen verschiedenen G. ergibt sich unzweifelhaft, daß die Erdoberfläche eine von der Kugel abweichende, an den Polen abgeplattete Gestalt hat. Aber bezüglich der Dimensionen und des Grades der Abplattung findet keine Übereinstimmung statt. Gewöhnlich hält man sich gegenwärtig an die Zahlen, welche Bessel 1841 aus zehn G. als die wahrscheinlichsten abgeleitet hat. Derselbe fand nämlich für den Äquatorhalbmesser a, die halbe Achse b und die Abplattung die Werte:

a = 3,272,077,14 Toisen = 6,377,397,16 m
b = 3,261,139,33 " = 6,356,078,96 -
Abplattung = 1/299,1528.

Davon weichen aber andre Werte wesentlich ab. So hat z. B. Clarke 1878 mit Benutzung der russisch-skandinavischen, der englisch-französischen und der ostindischen Messungen die Werte

a = 6,378,250 m, b = 6,356,157 m
Abplattung = 1/293,456

berechnet. Derselbe bemerkt aber auch noch, daß die ostindischen Längengradmessungen eine weit geringere Krümmung in der Richtung senkrecht zum Meridian ergeben, als einem abgeplatteten Ellipsoid von obigen Dimensionen entsprechen würde. Aus der englischen Gradmessung allein hatte früher Oberst James den Wert 1/280,4 gefunden.

17) Aber nicht nur die verschiedenen G. liefern wesentlich verschiedene Resultate, sondern es gibt auch noch andre Methoden, die Gestalt der Erde zu bestimmen, die wieder zu andern Ergebnissen führen. Hier sind zunächst die Pendelbeobachtun-

gen zu nennen, durch welche die Länge des einfachen Sekundenpendels an verschiedenen Punkten der Erde und daraus die Intensität der Schwerkraft gefunden worden ist, aus der sich dann mittels des Clairautschen Gesetzes (s. d.) die Abplattung berechnen läßt. Auf diese Weise hat sich nun ein merklich größerer Wert der Abplattung ergeben als aus den G. So fand Sabine aus den eignen und Kapitän Katers Beobachtungen zwischen 0° und 80° nördl. Br. $^1/_{288,4}$, und Baily leitete aus Beobachtungen Kapitän Fosters zwischen 10° nördl. und 63° südl. Br. den Wert $^1/_{289,2}$ ab.

Das dritte Verfahren zur Bestimmung der Abplattung der Erde rührt von dem französischen Astronomen Laplace her und gründete sich auf die Störungen, welche die Erde infolge ihrer Abweichung von der Kugelgestalt in der Bewegung des Mondes verursacht. Dieses Verfahren verbindet mit dem Vorzug, daß ein Astronom, ohne seine Sternwarte zu verlassen, in der Bewegung eines Himmelskörpers die individuelle Gestalt der Erde, seines Wohnsitzes, lesen kann, noch den andern, daß man auf diese Weise einen mittlern Wert erhält, der unabhängig ist von der zufälligen Wahl dieses oder jenes Meridians. Laplace fand auf diese Art für die Abplattung anfänglich (mit den ältern Tafeln von Bürg) $^1/_{304,5}$, später (nach den Mondbeobachtungen von Bouvard und Burckhardt) $^1/_{306}$.

18) So wesentlich nun auch diese Zahlen voneinander abweichen, so repräsentieren die Unterschiede doch nur verhältnismäßig unbedeutende Höhen. Nehmen wir die beiden Werte $^1/_{280}$ und $^1/_{306}$, so entspricht der erste, unter Annahme des Besselschen Werts von a, einer Höhe von 22,776 m, der zweite aber einer solchen von 20,841 m; der Unterschied beträgt 1935 m, also noch nicht die doppelte Höhe des Brockens (1143 m). Immerhin aber ist bei dem heutigen Stande der Beobachtungskunst ein engerer Anschluß der Theorie an die Beobachtungen zu erwarten, wenn die erstere als genügend zu erachten sein soll. Man muß daher die Annahme, daß die Erdoberfläche, das will sagen, die unter dem Festland fortgesetzt zu denkende Meeresoberfläche, in aller Strenge ein regelmäßiges Rotationsellipsoid sei, fallen lassen. Diese Annahme gründete sich auf theoretische Untersuchungen über die Gleichgewichtsform einer gleichförmig dichten flüssigen Masse, deren kleinste Teilchen sich nach dem Newtonschen Gravitationsgesetz anziehen, während die ganze Masse sich mit konstanter Winkelgeschwindigkeit um eine Achse dreht. Es hat nun zuerst der britische Mathematiker Maclaurin 1742 den Nachweis geliefert, daß ein Rotationsellipsoid den Bedingungen des Gleichgewichts genügt, und wesentlich auf dasselbe Resultat beschränken sich auch die Ergebnisse der scharfsinnigen analytischen Untersuchungen von Lagrange (1773), Laplace (1783 und später) und Ivory (1831 und später). Während aber diese Untersuchungen nur zeigten, daß das abgeplattete Sphäroid die Gleichgewichtsfigur sein könne, gewöhnte man sich daran, in ihm die einzig mögliche solche Figur zu erblicken, und es erregte daher in den Kreisen der Mathematiker kein geringes Erstaunen, als 1834 K. G. J. Jacobi darauf aufmerksam machte, daß auch das dreiachsige Ellipsoid eine mögliche Gleichgewichtsfigur sei, ein Resultat, das eigentlich schon von Ivory begründet, aber vernachlässigt und durch einen falschen Schluß beiseite geschoben worden war.

Hieraus sieht man, daß den Versuchen, die Ergebnisse der G. durch ein dreiachsiges Ellipsoid darzustellen, theoretische Bedenken nicht entgegenstehen. Doch ist derartigen Berechnungen, wie sie 1859 von dem russischen General v. Schubert und 1878 von dem englischen Obersten Clarke veröffentlicht worden sind, kein sonderliches Gewicht beizulegen, da eine weit größere Zahl von Messungen nötig ist, um ein in den Verschiedenheiten der Meridiane ausgesprochenes Gesetz mit Zuverlässigkeit zu erkennen. Man hält daher im ganzen noch an der Ansicht fest, daß die Erde ein abgeplattetes Rotationsellipsoid ist, daß aber zahlreiche, durch Lotablenkungen zu konstatierende lokale Abweichungen, wellen- und mandelförmige Erhöhungen und Vertiefungen vorhanden sind.

Die europäische Gradmessung.

19) Um nun eine möglichst genaue Kenntnis von der Gestalt der Erdoberfläche im mittlern Europa und den angrenzenden Meeresteilen zu erhalten, machte der preußische General v. Bäyer in einer 1861 veröffentlichten Schrift: »Über die Figur und Größe der Erde«, den Vorschlag zu einer mitteleuropäischen Gradmessung. Es handelte sich im wesentlichen um eine von Drontheim bis Palermo reichende Meridianbogenmessung, die durch Längengradmessungen mit der russischen und französischen Meridianmessung verbunden werden sollte. Die Wahl Mitteleuropas wurde besonders dadurch veranlaßt, daß hier eine große Anzahl von Sternwarten vorhanden sind, deren Mitwirkung zu astronomischen Ortsbestimmungen wie zu Triangulierungsarbeiten höchst ersprießlich zu werden versprach. Auch waren die Landaufnahmen hier überall weit vorgeschritten und boten eine Menge Material, das nur auf seine Genauigkeit zu prüfen und zu verarbeiten war.

Der Vorschlag Bäyers fand bei den verschiedenen Regierungen bereitwilliges Entgegenkommen, und schon im April 1862 erfolgte eine Zusammenkunft preußischer, österreichischer und sächsischer Kommissare in Berlin; im Oktober 1864 aber wurde in Berlin die erste allgemeine Konferenz abgehalten, an welcher sich 14 Staaten durch 34 Vertreter beteiligten, und auf welcher die Organisation des ganzen Unternehmens im wesentlichen festgestellt wurde. Auf der zweiten allgemeinen Konferenz, die im Oktober 1867 in Berlin stattfand, wurde der Name »europäische Gradmessung« für das Unternehmen adoptiert, dem inzwischen alle Staaten Europas, mit Ausnahme der Türkei und Griechenlands, beigetreten waren. Das ganze Unternehmen ruht in den Händen einer größern Anzahl von Bevollmächtigten der verschiedenen europäischen Staaten, die gleichsam eine gelehrte Gesellschaft bildet und sich von den bestehenden Akademien wesentlich dadurch unterscheidet, daß ihre Thätigkeit auf einen einzigen Gegenstand, die Erforschung der Gestalt der Erde, gerichtet ist. Die Bevollmächtigten, 1880: 60, sind Professoren der Astronomie oder Geodäsie, Mitglieder von Akademien oder Militärs, je nach den Einrichtungen in den einzelnen Staaten. Die wissenschaftliche Leitung steht einer aus neun Mitgliedern zusammengesetzten »permanenten Kommission« zu, deren erster Präsident der verstorbene Astronom Hansen in Gotha war, und deren gegenwärtiger der spanische General Ibañez ist. Ausführendes Organ derselben ist das mit dem preußischen geodätischen Institut verbundene »Zentralbüreau der europäischen Gradmessung« in Berlin mit dem General Bäyer an der Spitze. Die permanente Kommission tritt alle Jahre zu Beratungen zusammen, alle drei Jahre aber wird, und zwar in einer in Mitteleuropa gelegenen Stadt, eine allgemeine Konferenz der Bevollmächtigten abgehalten. Solche fanden außer den beiden bereits erwähnten noch im Herbst 1871 in Wien, 1874 in Dresden, 1877 in Stuttgart und 1880 in München statt.

Die europäische Gradmessung hat sich nun die Aufgabe gestellt, längs bestimmter Meridiane und Parallelkreise Triangulationen auszuführen und daraus die Längen der kürzesten Linien zwischen einer größern Anzahl von Hauptpunkten mit Genauigkeit zu ermitteln. Diese Hauptpunkte werden zugleich astronomisch bestimmt, und aus diesen geodätischen und astronomischen Bestimmungen wird dann die Größe und Krümmung der Erdoberfläche abgeleitet. Gegenwärtig ist denn auch Europa mit einem Netz von Dreiecken überzogen, das sich vom höchsten Norden Skandinaviens bis nach Sizilien und Südspanien sowie in einer an den 52. Parallelkreis sich anschließenden Zone vom O. des europäischen Rußland nach Westeuropa erstreckt. Durch Beobachtungen auf den Gipfeln des Mulhacen und Tetica in Südspanien sowie des Filhaousen und M'Sahiba in Algerien hat ferner Perrier die spanische Triangulation mit der algerischen verbunden. Das zwischen beiden Ländern über das Meer gelegte Viereck hat Diagonalen bis zu 270 km Länge, und da zur Sichtbarmachung der auf den Endpunkten stehenden Signale das durch Heliotrope reflektierte Sonnenlicht nicht ausreichte, die am Tag aufsteigenden Dunstschichten zu durchdringen, so wurde dazu elektrisches Licht benutzt, das durch von Dampfkraft getriebene Maschinen erzeugt wurde. Auch zwischen Sizilien und Kap Bon ist die Verbindung mit Afrika hergestellt. Zu diesen geodätischen Arbeiten kommen noch zahlreiche astronomische Bestimmungen von Polhöhen und Längendifferenzen. Von den letztern, bei denen der elektrische Telegraph treffliche Dienste geleistet hat, sind besonders die zwischen Pulkowa, Warschau und Wien, zwischen Odessa und Berlin sowie zwischen Berlin und Paris bemerkenswert. Durch Ermittelung der Längendifferenz zwischen M'Sahiba und Algier ergab sich die Größe eines Grades auf dem Parallel von 36° nördl. Br. anders als auf dem Besselschen Ellipsoid; es scheint daher dieses Parallel keine gleichförmige Krümmung zu besitzen.

Besondere Aufmerksamkeit wird auch den durch den Einfluß der Gebirge und die ungleichförmige Verteilung der Massen unter der Erdoberfläche hervorgerufenen Ablenkungen des Bleilots (s. d.) gewidmet, die sich durch Abweichungen zwischen den geodätischen und den astronomischen Ortsbestimmungen kundgeben. Südlich von den Alpen beträgt diese Lotabweichung nahezu 60″, am Kaukasus über 40″, am Brocken über 10″, und eine Neubestimmung der geographischen Breite des Puy de Dôme in Frankreich hat dort eine schon von Delambre vermutete Ablenkung von 7″ nachgewiesen.

Ferner gehört zu den Aufgaben der europäischen Gradmessung die Messung der Intensität der Schwere oder, was auf dasselbe hinauskommt, die Ermittelung der Länge des einfachen (mathematischen) Sekundenpendels. Es ist schon der Thatsache Erwähnung geschehen, daß die Pendelbeobachtungen einen wesentlich größern Wert für die Erdabplattung liefern als die G., und es erhebt sich daher die Frage, woher dies rühre. Gegenwärtig geht nun die Ansicht der meisten Physiker dahin, daß die Pendelapparate noch nicht einen hinreichenden Grad von Genauigkeit besitzen, indem beim Gebrauch die Gestelle, an denen die Pendel angebracht sind, mitschwingen, was bisher nicht genügend beobachtet worden ist. Auf der Münchener Konferenz wurde deshalb eine aus dem französischen Akademiker Faye und den Professoren Helmholtz in Berlin, v. Oppolzer in Wien und Plantamour in Genf bestehende Kommission damit beauftragt, Vorschläge bezüglich der besten Einrichtung der Pendel und ihres Gebrauchs zu machen.

Endlich hat die europäische Gradmessung auch noch die Ermittelung der Höhe der Länder über dem Meeresspiegel sowie die Bestimmung des Niveauunterschieds der Meere unter sich in ihr Programm aufgenommen. Zu dem Zweck werden durch ganz Europa Präzisionsnivellements ausgeführt und an zahlreichen Küstenpunkten durch selbstthätig registrierende Apparate (Mareographen) die mittlern Höhen des Meeresspiegels ermittelt. Aus den französischen Messungen ergibt sich in letzterer Hinsicht, daß sich der Atlantische Ozean um 0,75—0,80 m über das Mittelmeer bei Marseille erhebt; bei Bayonne beträgt diese Erhebung 0,856, bei Brest 1,022, bei Havre 0,341 und bei Dünkirchen 0,776 m; anderseits steht das Mittelwasser des Ozeans bei Bayonne 0,159, bei Brest 0,325, bei Calais 0,056 m über dem Mittelwasser der Ostsee bei Swinemünde, bei La Rochelle aber 0,297 m unter demselben.

Neben diesen Hauptarbeiten laufen noch eine Menge andrer her. Es sei hier nur der Untersuchungen über die terrestrische Strahlenbrechung und ihrer Abhängigkeit von Witterungsverhältnissen sowie der zahlreichen Maßvergleichungen gedacht, welche namentlich durch den Umstand notwendig wurden, daß die ältern Basismessungen mit verschiedenen, nicht genau verglichenen Maßstäben ausgeführt worden sind. Die Notwendigkeit einer genauen Fixierung der Längeneinheit hat auch zur Einsetzung einer besondern internationalen Kommission geführt, und für die Zwecke der europäischen Gradmessung ist von Gebrüder Brunner in Paris ein internationaler geodätischer Maßstab gefertigt worden, dessen chemische Zusammensetzung

(90 Platin und 10 Iridium), Dichte, Elastizitäts- und Ausdehnungskoeffizient ꝛc. von Saint-Claire Deville und Mascart in Paris genau untersucht worden sind.

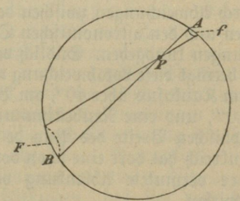
Gradstock, s. v. w. Jakobsstab.

Graham (spr. gräh̆äm), 1) George, geb. 1675 zu Horsgills in Cumberland, gest. 20. Nov. 1751 zu London; ist bekannt als tüchtiger Uhrmacher und Erfinder der nach ihm benannten Hemmung sowie der Rost- und Quecksilberkompensation für Pendel; auch erbaute er für die Greenwicher Sternwarte mehrere große Instrumente sowie für Bradley den Zenithsektor, mit welchem derselbe die Aberration entdeckte. — 2) Andrew, geb. 8. April 1815 im County Fermanagh in Irland, seit 1848 Astronom der Sternwarte, die J. Edwards Cooper auf seinem Schloß Markree Castle an der Nordwestküste Irlands eingerichtet hatte zu dem Zweck, auf Grund selbständiger Beobachtungen einen Katalog und eine Karte der in der Nähe der Ekliptik befindlichen Sterne bis herab zur 11. Größe anzufertigen und mit deren Hilfe nach Planetoiden und dem ultra-uranischen Planeten zu suchen. Der Katalog erschien in 4 Bänden 1851, 1853, 1854 und 1856.

Gravitation oder allgemeine Massenanziehung nennt man die aller Materie zukommende Eigenschaft, der zufolge jedes einzelne Teilchen jedes andre Teilchen anzieht mit einer Kraft, die seiner eignen Masse direkt und dem Quadrat der Entfernung des anziehenden vom angezogenen Teilchen umgekehrt proportional ist. Steht also der angezogene Körper in der doppelten, dreifachen, vierfachen Entfernung von dem anziehenden, so beträgt die Anziehung nur noch $1/4$, $1/9$, $1/16$ der ursprünglichen Größe.

1) Denken wir uns jetzt einen Körper, dessen einzelne Massenteilchen sämtlich nach dem angegebenen Satz anziehend auf einen irgendwo im Raum befindlichen Punkt wirken, so lassen sich diese verschiedenen Anziehungen nach dem Satz, der in der Mechanik unter dem Namen des Parallelogramms der Kräfte bekannt ist, zusammensetzen zu einer einzigen Kraft, die nach einem bestimmten Punkt hin gerichtet ist. Betrachtet man z. B. eine sehr dünne Kugelschale von durchweg gleicher Dichte, so findet man durch mathematische Betrachtungen, die uns hier zu weit führen würden, daß die Anziehung, die auf einen äußern Punkt ausgeübt wird, gerade so groß ist, als läge die ganze Masse der Kugelschale im Mittelpunkt vereinigt. Haben wir also eine dickere Kugelschale oder auch eine volle Kugel, innerhalb welcher die Dichtigkeit in gleichem Abstand vom Mittelpunkt überall gleichgroß ist, so wird auch hier die Gesamtanziehung auf einen äußern Punkt ebenso groß sein, als läge die gesamte Masse im Mittelpunkt vereinigt.

2) Nehmen wir aber ein Körperteilchen im Innern einer hohlen, überall gleichdicken und in gleichen Abständen vom Mittelpunkt gleichdichten Kugelschale an, so wird dieses auch von allen Massenteilchen derselben angezogen; es zeigt sich aber, daß alle diese Anziehungen sich gegenseitig aufheben. Um diesen Nachweis zu führen, denken wir uns durch das Körperteilchen, welches im Punkt P konzentriert sein mag, eine beliebige Ebene gelegt, welche die Oberfläche der Schale in einem Kreise



schneidet (s. Figur). Wir wollen uns nun P als Spitze eines sehr spitzen Doppelkegels denken, dessen eine Seite die Sehne AB ist. Dieser Kegel schneidet bei A und B kleine Flächenstücke aus der Kugel f und F, von denen wir annehmen können, daß sie in den Ebenen liegen, welche die Kugel in A und B berühren. Da nun diese Berührungsebenen gegen die Sehne AB gleich geneigt sind, so sind die beiden Kegel einander ähnlich, und die Flächen f und F verhalten sich wie die Quadrate der Linien AP und BP; es ist also

$$\frac{f}{AP^2} = \frac{F}{BP^2}.$$

Wenn nun die Kugelschale sehr dünn und überall gleich dicht ist, so verhalten sich die Massen, welche bei A und B innerhalb der Kegel liegen, wie die Flächen f und F; die Anziehungen dieser Massen auf P sind demnach gleichgroß, und weil sie entgegengesetzte Richtung haben, so heben sie sich auf. Auf diese Weise heben sich die Anziehungen, die von entgegengesetzten Seiten auf P ausgeübt werden, paarweise auf. Denken wir uns nun eine dickere Kugelschale in eine große Anzahl sehr dünner konzentrischer Schalen zerlegt, so heben sich innerhalb jeder einzelnen die Anziehungen auf, und daher ist die Anziehung der ganzen Kugelschale auf einen innern Punkt gleich Null.

Befindet sich also ein Punkt P im Innern einer massiven Kugel, in welcher die Dichte durchweg gleich oder mit der Entfernung vom Mittelpunkt veränderlich ist, so üben auf denselben nur diejenigen Punkte eine wirksame Anziehung, die dem Mittelpunkt näher liegen als P.

3) Dem in Nr. 1 angeführten Satz gemäß übt die Erde auf jeden außer ihr befindlichen Punkt eine Anziehung aus, die so groß ist, als läge die ganze Masse unsers Planeten in seinem Mittelpunkt vereinigt, und diese Anziehung eben ist es, die wir wahrnehmen, im **Fall** der Körper zur Erde herab, und im **Druck**, den ein unterstützter Körper auf seine Unterlage ausübt.

Eine geringe Modifikation erleidet diese Bemerkung allerdings durch den Umstand, daß die Erde nicht genau kugelförmig, sondern sphäroidisch ist. Infolgedessen ist die Richtung der Schwere nur am Äquator und den Polen genau nach dem Mittelpunkt gerichtet, an andern Orten aber steht sie rechtwinkelig gegen die ideelle Oberfläche, d. h. gegen die Oberfläche des offenen Meers, wenn man sich solche in sphäroidischer Gestalt unter das Festland fortgesetzt denkt. Indessen ist die Abweichung der Erde und der übrigen Planeten von der Kugelgestalt so unbedeutend, daß man sie in den meisten Fällen ganz vernachlässigen darf.

Bei der Betrachtung des freien Falles der Körper kann in der Regel von der Veränderung der Schwere mit der Entfernung von der Erde abgesehen werden, weil die Fallräume nur verhältnismäßig klein sind. Bei größern Fallräumen muß dieselbe aber berücksichtigt werden, und es gelten dann nicht mehr die einfachen Galileischen Fallgesetze. Vgl. Fall der Körper.

In ganz gleicher Weise wie die Erde wirkt auch jeder andre Himmelskörper anziehend, und man kann sich bei Berechnung der Wirkung dieser Anziehung auf andre Körper seine gesamte Masse in seinem Mittelpunkt vereinigt denken.

4) Eine Ahnung davon, daß die Schwere sich in größere Entfernung von der Erde erstreckt, hat man schon im klassischen Altertum gehabt. Insbesondere scheint das Niederfallen eines gewaltigen Meteoriten am Ziegenfluß (Ägospotamos) in der Thrakischen Chersones, in der Nähe der Stelle, an welcher 62 Jahre später Lysander durch seinen Sieg über die Athener dem Peloponnesischen Krieg ein Ende machte, derartige Ideen angeregt zu haben. Der Geschichtschreiber Plutarch gedenkt in seiner Biographie Lysanders der Meinungen einiger Physiker betreffs der Feuermeteore, wonach diese Meteore Wurf und Fall himmlischer Körper sind, dergestalt, daß sie durch ein Nachlassen des Schwunges herabgeschleudert werden. An einer andern Stelle, in seiner Abhandlung »Über das Gesicht im Mond«, bemerkt derselbe Schriftsteller, »daß der Mond, wenn seine Schwungkraft aufhörte, zur Erde fallen würde, wie der Stein in der Schleuder«. Das ist genau dasselbe, als wenn man in der Redeweise der heutigen Physik spricht: »Der Mond, von der Erde angezogen, würde zu derselben herabfallen, wenn er sich nicht in ungefähr kreisförmiger Bahn um dieselbe bewegte; die bei dieser Bewegung entwickelte Zentrifugalkraft hält aber der Anziehung der Erde gerade das Gleichgewicht, und der Mond bleibt deshalb in seiner Bahn«. Noch deutlicher weist auf eine der Zentrifugal- oder Schwungkraft entgegengesetzte Zentralkraft der im 6. Jahrh. unsrer Zeitrechnung lebende Kommen-

tator des Aristoteles, Simplicius, hin, indem er das Nichtherabfallen der Weltkörper dadurch erklärt, »daß der Umschwung die Oberhand hat über die eigne Fallkraft, den Zug nach unten«.

5) Der Begründer der neuern Astronomie, Kopernikus, war der Ansicht, »daß die Schwere nichts andres sei als eine Art den Teilen beigegebenes natürliches Bestreben, sich zu einem einheitlichen Ganzen in Kugelgestalt zu formieren; und es ist zu glauben«, fügt er hinzu, »daß diese Eigenschaft auch der Sonne, dem Mond und den übrigen Planeten zukomme und dieselben hierdurch in ihrer runden Gestalt verbleiben«.

Ähnlichen Vorstellungen begegnen wir auch bei Kepler. In der Einleitung zu seiner »Neuen Astronomie« sagt er: »Die Schwere ist ein den bekannten Körpern zukommendes Streben nach gegenseitiger Vereinigung; viel kräftiger zieht die Erde den Stein, als der Stein die Erde an. Die schweren Körper fallen nach dem Mittelpunkt der Welt (wenn wir die Erde als solchen annehmen), nicht weil derselbe der Mittelpunkt der Welt, sondern weil er der Mittelpunkt eines runden Körpers, nämlich der Erde, ist. Mag daher die Erde wohin immer durch ihre innewohnende Kraft versetzt werden, immer fallen die schweren Körper zu ihr nieder. Wäre die Erde nicht rund, so würden die schweren Körper nicht von allen Seiten nach dem Mittelpunkt derselben fallen, sondern von verschiedenen Seiten her nach verschiedenen Punkten. Wenn sich zwei Steine irgendwo in der Welt in gegenseitiger Nähe, aber außer dem Bereich der Anziehung eines dritten Körpers befinden, so werden sie nach Art zweier magnetischer Körper nach einem mittlern Ort zusammengehen, indem ein jeder einen Weg zurücklegt, welcher der Masse des andern proportional ist. Würden der Mond und die Erde nicht durch ihnen innewohnende lebendige oder eine gleichwertige Kraft in ihrer Bahn erhalten, so würde die Erde zum Mond emporsteigen um den 54. Teil des Abstands beider, der Mond aber würde um ungefähr 53 solcher Teile zur Erde herabkommen, und dann würden sie zusammentreffen, vorausgesetzt, daß die Substanz beider gleichartig und von derselben Dichte ist. Wenn die Erde aufhörte, ihre Gewässer an sich zu ziehen, so würden die Wasser des Meers emporsteigen und auf den Mond strömen.« Wir treffen also bei Kepler schon die Vorstellung, daß die Schwere allen einzelnen Körperteilchen zukommt, und dann hebt er besonders hervor, daß die Anziehung zweier Körper eine gegenseitige, daß aber ihre Wirkung, die aus ihr resultierende Bewegung, der Masse des anziehenden Körpers proportional ist. Dagegen fehlt bei Kepler die Regel, daß die Anziehung umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung wirkt. Daß derselbe die richtige mathematische Formel für die gegenseitige Massenanziehung nicht hat finden können, hat seinen Grund hauptsächlich darin, daß ihm noch das Gesetz für die Größe der Zentrifugalkraft unbekannt war. Dasselbe ist nämlich erst ein Menschenalter später von dem Niederländer Huygens entwickelt worden. Diesem sowie seinen Zeitgenossen Wren und Hooke schreibt Newton die Ableitung der Formel für das Gesetz der Anziehung aus dem dritten Keplerschen Gesetz (s. Keplersche Gesetze) zu. Außer ihnen sind auch noch Boulliau und Borelli als solche zu nennen, welche ein gemeinsames, den drei Keplerschen Gesetzen zu Grunde liegendes Prinzip ahnten.

6) Es ist auch sehr leicht, unter der Annahme einer kreisförmigen Bewegung der Planeten um die im Mittelpunkt stehende Sonne den Satz zu entwickeln, daß die Anziehung der Sonne auf die Planeten umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung ist. Bewegt sich nämlich ein Körper mit der gleichbleibenden Geschwindigkeit v auf dem Umfang eines Kreises vom Halbmesser r, so ist den Entwickelungen im Art. »Zentrifugalkraft« zufolge die Beschleunigung der Zentrifugalkraft $f=\frac{v^2}{r}$. Braucht nun der Körper zur Zurücklegung des ganzen Kreisumfangs $2r\pi$ die Zeit u (in Sekunden), so ist $v=\frac{2r\pi}{u}$ und daher

$$f = 4\pi^2 \cdot \frac{r}{u^2}.$$

Bewegt sich um denselben Mittelpunkt noch ein zweiter Körper auf einem Kreis vom Halbmesser R, und ist U seine Umlaufszeit, so ist bei ihm die Beschleunigung der Zentrifugalkraft

$$F = 4\pi^2 \cdot \frac{R}{U^2}.$$

Sonach hat man für das Verhältnis der Fliehkräfte die Formel

$$\frac{f}{F} = \frac{r}{R} \cdot \frac{U^2}{u^2}.$$

Denken wir uns nun unter den beiden Körpern ein Paar in Kreisbahnen um die Sonne laufende Planeten, so ist dem dritten Keplerschen Gesetz zufolge

$$\frac{U^2}{u^2} = \frac{R^3}{r^3},$$

und wenn man diesen Wert in die vorige Gleichung einsetzt, so geht diese über in

$$\frac{f}{F} = \frac{r}{R} \cdot \frac{R^3}{r^3} = \frac{R^2}{r^2}.$$

Es verhalten sich also die Fliehkräfte der beiden Planeten umgekehrt wie die Quadrate ihrer Entfernungen von der Sonne. Soll aber ein Planet sich in kreisförmiger Bahn um die Sonne bewegen, so muß er von der Sonne angezogen werden mit einer Kraft, welche der Fliehkraft gerade das Gleichgewicht hält, also ihr an Größe gleich ist. Mithin verhalten sich auch die Anziehungen, welche die Sonne auf die Planeten ausübt, umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen.

7) Newton hat sich nun das Verdienst erworben, zuerst unter Annahme dieses Gesetzes den Nachweis geführt zu haben, daß es die Anziehung der Erde ist, die wir als irdische Schwere kennen, welche den Mond in seiner Bahn festhält. Bezeichnen wir mit R und U den Halbmesser der (als kreisförmigen angenommenen) Mondbahn und die Umlaufszeit des Mondes (27 Tage 7 Stund. 43 Min. 48 Sek. = 2,360,628 Sek.), mit r den Erdhalbmesser und mit g die Beschleunigung der Schwere (9,8 m), so ergibt sich zunächst für die Fliehkraft des Mondes der Wert

$$4\pi^2 \cdot \frac{R}{U^2}.$$

So groß ist also auch die Anziehung anzunehmen, welche die Erde auf ihren Trabanten ausübt. Denken wir uns diesen an die Erdoberfläche, also aus der Entfernung R in die Entfernung r vom Erdmittelpunkt, versetzt, so würde die Anziehung wachsen in dem Verhältnis $r^2 : R^2$ und also die Größe

$$4\pi^2 \cdot \frac{R^3}{r^2 U^2} = \frac{4\pi}{U^2} \cdot \left(\frac{R}{r}\right)^3 \cdot r\pi$$

besitzen. Ebenso groß muß aber die Schwerkraft oder bestimmter die Beschleunigung g sein. Bezeichnen wir noch mit μ die Länge eines Meridiangrads auf der (kugelförmigen) Erde und setzen für den halben Erdumfang $r\pi$ den Wert $180 \cdot \mu$, so lautet die Formel, deren Richtigkeit zu prüfen ist,

$$g = \frac{4\pi}{U^2} \cdot \left(\frac{R}{r}\right)^3 \cdot 180 \cdot \mu.$$

Bekannt ist die Erzählung, daß Newton, als er 1666, durch die Pest aus Cambridge vertrieben, nachdenkend im heimatlichen Garten zu Whoolstorpe saß, durch den Fall eines Apfels zu der Frage veranlaßt wurde, ob wohl dieselbe Kraft, die den Apfel zu fallen zwinge, auch den Mond in seiner Bahn um die Erde erhalte. Newton wußte nun damals, daß der Abstand des Mondes vom Erdmittelpunkt 60,4 Erdhalbmesser betrage, also daß $R = 60{,}4 \cdot r$ sei; er nahm aber fälschlich die Größe des Meridiangrads zu 60 engl. Meilen oder $\mu = 297{,}251$ Pariser Fuß an. Setzt man diesen Wert in die vorstehende Formel ein, so erhält man $g = 26{,}59$ Pariser Fuß; da nun Galilei durch Versuche ungefähr 30 Fuß, also etwa den 6. Teil mehr, gefunden hatte, so hielt Newton die Übereinstimmung nicht für hinlänglich erwiesen und gab die ganze Untersuchung vorläufig auf. 16 Jahre später (1682) erhielt er aber in einer Sitzung der Londoner Gesellschaft der Wissenschaften Kunde davon, daß Picard bei seiner Gradmessung in Frankreich 1671 den Wert von 342,360 Par. Fuß für den Meridiangrad gefunden habe. Infolge davon nahm er seine Berechnung wieder auf, und als er bemerkte, daß das gehoffte Resultat wirklich zum Vorschein kommen würde, geriet er in solche Aufregung, daß er nicht weiter arbeiten konnte und einen dazugekommenen Freund bitten mußte, die Rechnung zu vollenden. Er hatte die Genugthuung, seine Erwartung vollständig bestätigt zu finden. Die Formel gibt, wie man leicht bei Ausführung der Rechnung findet, $g = 30{,}62$ Par. Fuß, was ziemlich genau mit dem Galileischen Wert übereinstimmt. Dieser Übereinstimmung wegen hielt sich nun Newton für berechtigt, sein an der Spitze dieses Artikels stehendes Gesetz, das **Gravitationsgesetz**, auszusprechen und die weitern Konsequenzen dieses Gesetzes aufzusuchen. Durch angestrengteste Thätigkeit gelang es ihm auch, binnen zwei Jahren nicht nur die Keplerschen Gesetze der Planetenbewegung als notwendige Folgen dieses Gesetzes nachzuweisen, sondern überhaupt der ganzen Astronomie eine theoretische, physikalische Grundlage zu geben. Sein berühmtes Werk, das diese Arbeiten enthält, die »Mathematischen Prinzipien der Naturphilosophie«, erschien (lat.) 1686.

8) Im Art. »Zentralbewegung« ist gezeigt, wie man aus der elliptischen Bewegung der Planeten nach den drei Keplerschen Gesetzen das Gesetz ableitet, daß die bei dieser Bewegung thätige Zentralkraft umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung wirkt. Es ist dort auch bewiesen, daß das zweite Keplersche Gesetz bei jeder Zentralbewegung gilt, mag das Gesetz, nach welchem die letztere wirkt, sein, welches es immer wolle. Es bleibt uns hier noch übrig, die Hauptgedanken der mathematischen Entwickelung anzugeben, durch welche man, von dem Gravitationsgesetz ausgehend, zu den beiden andern Keplerschen Gesetzen gelangt.

Wir wollen die Masse der Sonne als Einheit annehmen und diejenige des in Rede stehenden Planeten oder Kometen, dessen Bahn zu finden ist, mit m bezeichnen. Ferner möge die Beschleunigung, welche die Masseneinheit einem in der Entfernung befindlichen Körper erteilt, $= k^2$ sein; dann ist dem Newtonschen Gesetz zufolge die Beschleunigung, welche die Sonne dem in der Entfernung r befindlichen Planeten erteilt,

$$\frac{k^2}{r^2},$$

und die Beschleunigung, welche die Sonne von dem Planeten mit der Masse m erhält, ist $\frac{k^2 m}{r^2}$.

Denn die Anziehung geht nicht bloß von der Sonne auf den Planeten, sondern auch von diesem aus auf die Sonne, gerade so, wie ein zur Erde niederfallender Stein nicht bloß von der Erde angezogen wird, sondern auch seinerseits diese anzieht. Da beide Beschleunigungen die Entfernung der Sonne von dem Planeten zu vermindern streben, so sind sie zu addieren, und wenn wir uns die Sonne als ruhend denken, so ist

$$\frac{k^2 (1 + m)}{r^2} \tag{1}$$

die relative Beschleunigung des Planeten in der Richtung zur Sonne hin. Dieser Ausdruck für die Beschleunigung dient nun als Ausgangspunkt für die mathematische Untersuchung der Bewegung. Dabei wird vorausgesetzt, daß der Planet schon eine gewisse, nicht direkt nach der Sonne hin oder von ihr abgewendete Bewegung besitzt, wenn die Anziehung zu wirken beginnt. Durch mathematische Operationen, die wir hier nicht wiederholen, findet man nun für die Geschwindigkeit v des Planeten in seiner Bahn den Ausdruck

$$v = \sqrt{\frac{2k^2 (1 + m)}{r} - c}. \tag{2}$$

Die Bedeutung der Größe c ergibt sich sehr leicht, wenn wir annehmen, daß in einem bestimmten Augenblick, von dem an wir die Zeit rechnen, der Planet sich in der Entfernung r_0 von der Sonne befunden und mit der Geschwindigkeit v_0 bewegt habe. Werden diese beiden Werte in die Gleichung (2) eingesetzt, und löst man die Gleichung nach c auf, so findet man den Wert

$$c = \frac{2k^2 (1 + m)}{r_0} - v_0^2. \tag{3}$$

9) Während die Gleichung (2) uns eine Beziehung darstellt zwischen dem Radius Vector r (dem Abstand des Planeten von der Sonne) und der Geschwindigkeit in der Bahn, gelangt man durch anderweitige Entwickelungen auch zu einer Formel,

welche uns die Geſtalt der Bahn angibt. Zu dem Zweck denken wir uns durch den Sonnenmittelpunkt eine feſte Gerade gelegt und bezeichnen den Winkel, den der Radius Vector mit dieſer Geraden einſchließt, mit φ. Nennen wir dann noch C die **Flächengeſchwindigkeit**, d. h. die Fläche, welche dem zweiten Keplerſchen Geſetz zufolge der Radius Vector in jeder Sekunde überſtreicht, ſo ergibt ſich bei einer gewiſſen Wahl der feſten Geraden die Gleichung

$$r = \frac{p}{1 + e\cos\varphi}, \tag{4}$$

in welcher

$$p = \frac{4C^2}{k^2(1+m)} \tag{5}$$

und

$$e^2 = 1 - \frac{4cC^2}{k^4(1+m)^2} \tag{6}$$

iſt. Aus dem Art. »Kegelſchnitte« erhellt aber, daß die Gleichung (4) einen Kegelſchnitt darſtellt, und zwar iſt der Punkt, von welchem der Radius Vector ausgeht, alſo der Sonnenmittelpunkt, ein Brennpunkt dieſes Kegelſchnitts, die feſte Gerade iſt ſeine Hauptachſe, p das Parameter und e die Exzentrizität.

Hierin liegt eine Erweiterung des erſten Keplerſchen Geſetzes. Während nämlich dieſes ſagt, daß alle Planeten ſich in Ellipſen um die in einem Brennpunkt ſtehende Sonne bewegen, folgt aus dem Newtonſchen Gravitationsgeſetz lediglich, daß die Bahn eines unter dem Einfluß des letztern ſich bewegenden Körpers eine Ellipſe ſein **kann**; ſie kann aber auch eine Parabel oder eine Hyperbel ſein. Ob nun thatſächlich das eine oder das andre ſtattfindet, das hängt von dem Werte der Exzentrizität e ab: iſt dieſe gleich 1, ſo iſt die Bahn (4) eine Parabel, iſt ſie größer als 1, eine Hyperbel, iſt ſie aber kleiner als 1, eine Ellipſe. Aus der Gleichung (6) iſt nun erſichtlich, daß der erſte, zweite oder dritte Fall eintritt, je nachdem die Größe c gleich 0, negativ oder poſitiv iſt. Mittels des in der Gleichung (3) angegebenen Werts von c laſſen ſich dieſe Bedingungen in der Form angeben, daß die Bahn eine **Parabel** iſt, wenn

$$v_0 = k\sqrt{\frac{2(1+m)}{r_0}},$$

eine **Hyperbel**, wenn

$$v_0 \text{ größer als } k\sqrt{\frac{2(1+m)}{r_0}},$$

endlich eine **Ellipſe**, wenn

$$v_0 \text{ kleiner iſt als } k\sqrt{\frac{2(1+m)}{r_0}}.$$

Es iſt hierbei bemerkenswert, daß die Art der Kurve, in welcher der Körper ſich bewegt, **nicht abhängt von der Richtung, ſondern nur von der Größe** der Geſchwindigkeit v_0, die dem Körper anfänglich zukommt.

Ferner erkennt man, daß bloß bei einer einzigen Größe von v_0 eine paraboliſche Bahn entſteht, dagegen in unendlich vielen Fällen eine hyperboliſche und ebenſo in unendlich vielen eine elliptiſche Bahn. Gleichwohl beobachten wir thatſächlich bei den Planeten und manchen Kometen elliptiſche, bei vielen der letztern aber auch paraboliſche und nur bei einer geringen Anzahl hyperboliſche Bahnen. Doch iſt es bei den Kometenbahnen, die wir als paraboliſch betrachten, noch zweifelhaft, ob wir es mit wirklichen Parabeln oder nur mit ſehr lang gezogenen Ellipſen oder Hyperbeln zu thun haben.

10) Wir wollen jetzt noch den Fall der **elliptiſchen Bewegung** betrachten. Zunächſt iſt hier (vgl. Ellipſe) das Parameter

$$p = a(1 - e^2),$$

wo a die halbe große Achſe und

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$$

die Exzentrizität bedeutet; die halbe Nebenachſe iſt demnach

$$b = a\sqrt{1 - e^2}$$

und mithin die Fläche der Ellipſe

$$ab\pi = a^2\pi\sqrt{1 - e^2}.$$

Bezeichnet man nun die (in Sekunden ausgedrückte) Umlaufszeit des Planeten mit u, ſo findet man für die Flächengeſchwindigkeit C den Ausdruck

$$C = \frac{ab\pi}{u} = \frac{a^2\pi\sqrt{1 - e^2}}{u}.$$

Anderſeits iſt der Gleichung (5) zufolge

$$C = \frac{1}{2}k\sqrt{p(1+m)},$$

und wenn man in dieſe Gleichung den Wert $p = a(1 - e^2)$ einſetzt und beide

Werte von C einander gleichsetzt, so berechnet sich für k^2 der Wert

$$k^2 = 4\pi^2 \frac{a^3}{u^2\,(1+m)}.$$

Nun ist k^2 die Anziehung, welche die Sonne (die Masseneinheit) in der Entfernung 1 ausübt, und also solche für alle Planeten dieselbe. Ist also a' die große Halbachse der Bahn und u' die Umlaufszeit eines zweiten Planeten, dessen Masse den Wert m' hat, so ist auch

$$k^2 = 4\pi^2 \frac{a'^3}{u'^2\,(1+m')}.$$

Die Gleichsetzung dieser beiden Werte von k^2 führt uns nun auf eine merkwürdige Beziehung zwischen den großen Halbachsen, den Umlaufszeiten und den Massen zweier Planeten, nämlich

$$\frac{a^3}{a'^3} = \frac{u^2\,(1+m)}{u'^2\,(1+m')}.$$

Diese Gleichung kann man noch vereinfachen, wenn man die Massen m und m' der beiden Planeten gegen die Einheit vernachlässigt, was deshalb statthaft erscheint, weil diese Massen in der That sehr klein sind; beträgt doch selbst die Masse des Jupiter, des größten Planeten, nur etwa 1/1000 der Sonnenmasse. Gestattet man sich diese Annäherung, so erhält man die Gleichung

$$\frac{a^3}{a'^3} = \frac{u^2}{u'^2},$$

d. h. die dritten Potenzen der großen Halbachsen der Bahnen zweier Planeten verhalten sich wie die Quadrate ihrer Umlaufszeiten. — Dies ist das dritte der von Kepler für die Bewegung der Planeten aufgestellten Gesetze. Dasselbe ist, wie obige Darstellung zeigt, nicht in aller Strenge, sondern nur annäherungsweise richtig; aber die Annäherung ist eine sehr große.

Wie man mit Hilfe des zweiten Keplerschen Gesetzes die Anomalie φ für eine beliebige Zeit t bestimmt, ist im Art. »Keplersches Problem« erläutert; dort findet man auch, unter der Annahme, daß die Masse des Planeten vernachlässigt werden kann, den Ausdruck für die Geschwindigkeit v (entsprechend unsrer Gleichung 2) für den Fall einer elliptischen Bewegung.

Über den Wert der Größe k vgl. Gaußsche Konstante.

11) Heutigestags ist es ziemlich allgemein üblich, die G. als eine allgemeine, den Körpern innewohnende Eigenschaft zu betrachten, gerade so wie etwa die Ausdehnung und die Teilbarkeit, und auf eine Erklärung derselben, d. h. auf eine Zurückführung auf andre Erscheinungen, zu verzichten. Gleichwohl drängt sich uns bei einer unbefangenen Betrachtung die Überzeugung auf, daß eine Kraft, die unvermittelt durch den leeren Raum hindurchwirkt, wie es die G. thun soll, schlechterdings unbegreiflich ist. Dieses Bedenken hatten auch viele Zeitgenossen Newtons, insbesondere Leibniz und Huygens, und es hat dasselbe wesentlich dazu beigetragen, daß die Lehre Newtons trotz der Anerkennung, die man dem mathematischen Scharfsinn ihres Autors schuldete, namentlich auf dem Kontinent sehr langsam Eingang fand. Es ist nun bemerkenswert, daß Newton selbst weit davon entfernt ist, eine solche unvermittelte Wirkung in die Ferne zu behaupten; er hat vielmehr bei verschiedenen Gelegenheiten ganz entschieden Einspruch dagegen erhoben, für den Urheber einer solchen Lehre angesehen zu werden. So schreibt er beispielsweise 25. Febr. 1693 an den Philologen Bentley: »Daß die Schwere der Materie angeboren, inhärent und wesentlich sein sollte, so daß ein Körper auf einen andern in die Ferne wirken kann durch den leeren Raum, ohne Vermittelung von etwas anderm, wodurch die Wirkung von dem einen auf den andern übertragen werden kann, ist für mich eine so große Absurdität, daß ich glaube, es wird niemand, der in philosophischen Dingen ein kompetentes Urteil hat, jemals darauf verfallen«. Newton spricht es dagegen bestimmt aus, daß die G. eine Ursache habe; aber welches diese Ursache ist, vermag er nicht anzugeben. »Den Grund dieser Eigenschaften der Schwere«, so spricht er sich am Schlusse seines großen Werks, der »Prinzipien«, aus, »habe ich noch nicht aus den Erscheinungen ableiten können, und Hypothesen erdenke ich nicht.« Für ihn genügt es, wie er weiterhin schreibt, »daß die Schwere wirklich existiert und nach den dargelegten Gesetzen wirkt, und daß sie ausreicht zur Erklärung der Er-

klärung der Himmelskörper und unsers Meers« (der Ebbe und Flut).

Als derjenige, welcher hauptsächlich die irrige Auffassung der Newtonschen Lehre verschuldet hat, ist aber Newtons jüngerer Freund, der Mathematiker Roger Cotes (1682—1716), zu nennen, welcher 1713 die zweite Auflage der »Prinzipien« besorgte und in der Vorrede dazu unumwunden die Schwere ebenso für eine wesentliche, den Körpern innewohnende Eigenschaft erklärte wie die Ausdehnung, Beweglichkeit und Undurchdringlichkeit. Daß aber Newton auch in seinen spätern Lebensjahren nicht mit dieser Auffassung einverstanden war, ergibt sich deutlich daraus, daß er auch 1717 wieder in der Vorrede zur 2. Auflage seiner »Optik« sich nachdrücklich gegen die Autorschaft der Lehre von einer unvermittelten Wirkung in die Ferne verwahrt.

12) Kann es hiernach nicht zweifelhaft sein, daß in der allgemeinen Massenanziehung ein Problem enthalten ist, so hat es auch anderseits nicht an Versuchen zur Lösung desselben gefehlt. Newtons großer Zeitgenosse Huygens, die Mathematiker Johann Bernoulli und Leonhard Euler, der Genfer Lesage u. a. haben sich mit dieser Aufgabe beschäftigt. Diesen Versuchen liegt im wesentlichen die Vorstellung zu Grunde, daß im Raum außer den sinnlich wahrnehmbaren Körpern noch ein äußerst freies Medium, der Äther, verbreitet ist. Beide, die materiellen Körper wie der Äther, bestehen aus kleinsten Teilchen oder Molekeln; die Molekeln des Äthers aber sind in beständiger, sehr rascher Bewegung nach den verschiedensten Richtungen begriffen, ähnlich wie die neuere Physik sich die Gasmolekeln denkt. Befindet sich nun inmitten der Äthermolekeln eine Körpermolekel, so empfängt dieselbe von den erstern Stöße aus den verschiedensten Richtungen, die sich indessen gegenseitig aufheben. Stehen aber zwei Körpermolekeln einander gegenüber, so dient jede der andern als ein Schirm, der die Stöße in der Richtung nach der andern hin auffängt. Auf diese Weise werden die Molekeln gegeneinander hingetrieben, und es läßt sich auch zeigen, daß dieser Antrieb im umgekehrten quadratischen Verhältnis des Abstands der beiden Molekeln steht. Denkt man sich statt einer einzigen Molekel auf der einen Seite zwei, drei oder mehr nebeneinander, so sieht man leicht ein, daß die Wirkung doppelt, drei- oder mehrmal so groß sein muß. Wir hätten damit das Newtonsche Gesetz, daß die Anziehung direkt proportional der Masse und umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung ist.

Doch stoßen wir sofort auf eine Schwierigkeit, wenn wir uns zwei oder mehr Körpermolekeln hintereinander einer einfachen Molekel gegenübergestellt denken; diese zwei werden der ihr gegenüberstehenden nicht denselben Schutz gewähren, als wenn sie nebeneinander ständen. Überhaupt wird es uns schwierig, einzusehen, wie die im Innern eines Körpers befindlichen Molekeln eine Anziehung ausüben sollen, da sie ja ihrerseits durch die umliegenden Molekeln gegen die Stöße der Äthermolekeln geschützt sind. Es müßte hiernach die Größe der Anziehung nicht bloß von der Masse eines Körpers, sondern auch von seiner Form abhängen. Die Erfahrung hat uns aber bis jetzt nichts Derartiges gezeigt.

Ferner wird die Wirkung der Äthermolekeln auf einen bewegten Körper anders sein als auf einen ruhenden, und man sollte daher annehmen, daß die Größe der Anziehung auch von der Geschwindigkeit des anziehenden Körpers abhängt. Ob man auf astronomischem Weg nicht eine solche Abhängigkeit wird nachweisen können, muß der Zukunft überlassen bleiben.

Weiteres über dieses zur Zeit noch ungelöste Problem findet man in der Schrift von Isenkrahe, »Das Rätsel von der Schwerkraft« (1879).

Gregory, James, der Erfinder des nach ihm benannten, in seiner Schrift »Optica promota« 1663 zuerst beschriebenen Spiegelteleskops, geboren im November 1638 zu Aberdeen, ward nach mehrjährigem Aufenthalt in Italien 1669 Professor der Mathematik zu St. Andrews in Schottland und 1675 zu Edinburg, wo er im Oktober 1675 starb, nachdem er wenig Tage vorher bei Beobachtung der Jupitermonde erblindet war. — Sein Neffe David G., geb. 1661 zu Aberdeen, folgeweise Professor der Mathematik in Edinburg und der Astronomie in Oxford, gest. 1710 zu Maidenhead in Berkshire, hat sich durch ein 1702 erschienenes »Lehrbuch der Astronomie« (»Astronomiae physicae et geometricae elementa«) bekannt gemacht.

Grimaldi, Francesco Maria, geb. 2. April 1618 zu Bologna, Jesuit und Lehrer der Mathematik am Ordenskollegium in seiner Vaterstadt, gest. 28. Dez. 1668 daselbst; ist bekannt als Entdecker der Beugung des Lichts; er zeichnete eine Mondkarte, die sein Freund Riccioli in seinen »Neuen Almagest« aufnahm, und die, obwohl der Hevelschen nachstehend, dadurch bemerkenswert ist, daß Riccioli auf ihr das jetzt noch übliche System der Benennung der Mondberge nach berühmten Männern zur Geltung brachte.

Groombridge (spr. gruhmbriddsch), Stephen, geboren um 1755, gest. 30. März 1832, ein reicher Tuchhändler in London, errichtete eine Privatsternwarte zu Blackheath, auf der die Beobachtungen zu dem 1838 von Airy im Auftrag der englischen Admiralität herausgegebenen Katalog von Zirkumpolarsternen angestellt worden sind.

Gruithuisen, Franz von Paula, geb. 19. März 1774 auf Schloß Haltenberg am Lech, gest. 21. Juni 1852 in München; war erst Feldchirurg, dann Lehrer der Naturwissenschaften und seit 1826 Professor der Astronomie an der Universität München.

Guinand (spr. ghináng), Pierre Louis, geb. 1748 zu Corbatière bei La Chaur de Fonds, gest. 1824; war anfangs Tischler, beschäftigte sich aber nachher erfolgreich mit der Flintglasfabrikation und wurde 1805 auf den Rat des helvetischen Oberberghauptmanns Gruner von Utzschneider für sein optisches Institut in München engagiert, wo er Fraunhofer in seine Kunst einweihte, der dieselbe noch weiter vervollkommnete. Nach der Rückkehr in seine Heimat setzte G. hier die Glasfabrikation fort und lieferte insbesondere an Cauchoix in Paris gutes Glas.

Gyldén, Hugo, geb. 1841 zu Helsingfors, war anfangs als Observator in Pulkowa thätig und ist gegenwärtig Direktor der Sternwarte in Stockholm und Mitglied der schwedischen Akademie der Wissenschaften.

H.

Haar der Berenice (Coma Berenices), Sternbild der nördlichen Himmelskugel, zwischen den Jagdhunden im N. und der Jungfrau im S., dem Löwen im W. und dem Bootes im O., von $178^1/_2$ bis $202^1/_2{}^0$ Rektaszension und von $14^1/_3$ bis $31^1/_2{}^0$ nördlicher Deklination reichend. Es wird von zahlreichen kleinen Sternen gebildet; Heis zählt darin 70 dem bloßen Auge sichtbare, die aber alle unter 4. Größe sind. Unter ihnen befindet sich eine Anzahl Doppelsterne, von denen 42 (Flamsteed) besonders bemerkenswert ist wegen der Kürze der von Otto v. Struve berechneten Umlaufszeit, nämlich 25,7 Jahre. Es ist dies die kürzeste bis jetzt bei Doppelsternen gefundene Umlaufszeit. Übrigens gehört dieser Doppelstern zu den am schwierigsten zu trennenden, einesteils wegen der geringen Distanz (halbe große Achse = 0,66″), andernteils wegen der nahezu gleichen Helligkeit der Komponenten (6. Größe) 1833 und 1834, 1844 und 1845, 1863, 1871 bedeckten sich die Komponenten, und der Stern erschien von länglicher Gestalt. Außerdem sind mehrere Nebel vorhanden. Das H. d. B. wurde zuerst von dem Mathematiker Konon, einem Freunde des Archimedes, zu Ehren der Gemahlin des ägyptischen Königs Ptolemäos Soter als ein besonderes Sternbild aufgestellt.

Haarsterne, s. v. w. Kometen.

Hadley (spr. -le), John, Mechaniker in London, gest. 15. Febr. 1744 als Vizepräsident der Königlichen Gesellschaft daselbst, ist besonders bekannt durch den nach ihm