

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

~~BIBLIOTEKA GŁÓWNA~~

L. inw. ....

26

chen

# Astronomische Geographie

von

Prof. Dr. Siegm. Günther

Mit 52 Abbildungen

# Sammlung

# Böfchen

Unser heutiges Wissen  
in kurzen, klaren,  
allgemeinverständlichen  
Einzeldarstellungen

Jede Nummer in eleg. Leinwandband 80 Pf.

G. J. Böfchen'sche Verlagshandlung, Leipzig

Zweck und Ziel der „Sammlung Böfchen“ ist, in Einzeldarstellungen eine klare, leichtverständliche und übersichtliche Einführung in sämtliche Gebiete der Wissenschaft und Technik zu geben; in engem Rahmen, auf streng wissenschaftlicher Grundlage und unter Berücksichtigung des neuesten Standes der Forschung bearbeitet, soll jedes Bändchen zuverlässige Belehrung bieten. Jedes einzelne Gebiet ist in sich geschlossen dargestellt, aber dennoch stehen alle Bändchen in innerem Zusammenhange miteinander, so daß das Ganze, wenn es vollendet vorliegt, eine einheitliche, systematische Darstellung bilden dürfte.

Ein aus  
Nummer

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000295825

erschiedenen  
Bändchens

# Kleine naturwissenschaftliche Bibliothek aus der Sammlung Göschen.

Jedes Bändchen elegant in Leinwand gebunden 80 Pfennig.

**Der menschliche Körper** von E. Rehmann. Mit Gesundheitslehre von Dr. med. H. Seiler. Mit 47 Abbildungen und 1 Tafel. Nr. 18.

**Urgeschichte der Menschheit** von Prof. Dr. M. Goernes. Mit 48 Abbildungen. Nr. 42.

**Völkerkunde** von Dr. M. Haberlandt. Mit 56 Abbild. Nr. 73.

**Tierkunde** von Prof. Dr. F. v. Wagner. Mit 78 Abbild. Nr. 60.

**Tierbiologie** von Prof. Dr. H. Simroth. Nr. 131.

**Tiergeographie** von Prof. Dr. A. Jacobi. Mit 2 Karten. Nr. 218.

**Das Tierreich I: Säugetiere** von Oberstudienrat Prof. Dr. Karl Lampert. Mit 15 Abbildungen. Nr. 282.

**Schmarotzer und Schmarotzertum in der Tierwelt** von Prof. Dr. F. v. Wagner. Mit 67 Abbildungen. Nr. 151.

**Die Pflanze** von Dr. E. Dennert. Mit 96 Abbildungen. Nr. 44.

**Das Pflanzenreich** von Dr. F. Reinecke u. Prof. Dr. W. Migula. Mit 50 Figuren. Nr. 122.

**Pflanzenbiologie** von Prof. Dr. W. Migula. Mit 50 Abb. Nr. 127.

**Morphologie, Anatomie und Physiologie der Pflanzen** von Prof. Dr. W. Migula. Mit 50 Abbildungen. Nr. 141.

**Die Pflanzenwelt der Gewässer** von Prof. Dr. W. Migula. Mit 50 Abbildungen. Nr. 158.

**Exkursionsflora von Deutschland zum Bestimmen der häufigeren in Deutschland wildwachsenden Pflanzen.** 2 Bändchen. Mit 100 Abbildungen. Nr. 268, 269.

**Rutzpflanzen** von Prof. Dr. F. Behrens. Mit 53 Abb. Nr. 123.

**Die Pflanzenkrankheiten** von Dr. Werner Friedrich Bruck in Gießen. Mit 45 Abbildungen und 1 farbigen Tafel. Nr. 310.

**Mineralogie** von Prof. Dr. R. Brauns. Mit 130 Abbild. Nr. 29.

**Geologie** von Prof. Dr. E. Fraas. Mit 16 Abbildungen und 4 Tafeln. Nr. 13.

**Paläontologie** von Prof. Dr. R. Goernes. Mit 87 Abbild. Nr. 95.

**Petrographie** von Prof. Dr. W. Brühns. Mit vielen Abbildungen. Nr. 173.

**Kristallographie** von Prof. Dr. W. Brühns. Mit 190 Abbildungen. Nr. 210.

**Geschichte der Physik** von Prof. A. Rißner. Mit 16 Figuren. 2 Bände. Nr. 293, 294.

**Theoretische Physik** von Prof. Dr. G. Jäger. Mit Abbildungen. 3 Teile. Nr. 76—78.



- Radioaktivität** von Wilh. Frommel. Mit 18 Figuren. Nr. 317.
- Physikalische Messungsmethoden** von Oberlehrer Dr. Wilh. Bahrdt. Mit 49 Figuren. Nr. 301.
- Geschichte der Chemie** von Dr. Hugo Bauer. I: Von den ältesten Zeiten bis zur Verbrennungstheorie von Lavoisier. Nr. 264.  
— II: Von Lavoisier bis zur Gegenwart. Nr. 265.
- Anorganische Chemie** von Dr. F. Klein. Nr. 37.
- Metalloide** (Anorganische Chemie 1. Teil) v. Dr. D. Schmidt. Nr. 211.
- Metalle** (Anorganische Chemie 2. Teil) v. Dr. D. Schmidt. Nr. 212.
- Organische Chemie** von Dr. F. Klein. Nr. 38.
- Chemie der Kohlenstoffverbindungen** von Dr. H. Bauer. 4. Teile. Nr. 191—194.
- Analytische Chemie** v. Dr. Johs. Hoppe. 1. u. 2. Teil. Nr. 247, 248.
- Makroanalyse** von Dr. O. Röhm. Nr. 221.
- Chemisch-Technische Analyse** von Prof. Dr. G. Lunge. Mit 16 Abbildungen. Nr. 195.
- Stereochemie** von Prof. Dr. E. Wedekind. Mit 34 Fig. Nr. 201.
- Allgemeine und physikalische Chemie** von Dr. Max Rudolphi. Mit 22 Abbildungen. Nr. 71.
- Elektrochemie** von Dr. Heinr. Danneel. I: Theoretische Elektrochemie und ihre physikalisch-chemischen Grundlagen. Mit 18 Figuren. Nr. 252.
- Agrikulturchemie. I: Pflanzenernährung** von Dr. Karl Grauer. Nr. 329.
- Das agrikulturchemische Kontrollwesen** von Dr. Paul Krijsche. Nr. 304.
- Physiologische Chemie** v. Dr. med. A. Legahn. 2 Teile. Nr. 240, 241.
- Meteorologie** von Dr. W. Trabert. Mit 49 Abbildungen und 7 Tafeln. Nr. 54.
- Erdmagnetismus, Erdstrom und Polarlicht** von Dr. A. Ripoldt jr. Mit 14 Abbildungen und 3 Tafeln. Nr. 175.
- Astronomie** von Möbius, neubearbeitet von Prof. Dr. W. F. Wislicenus. Mit 36 Abbildungen und 1 Sternkarte. Nr. 11.
- Astrophysik** von Prof. Dr. W. F. Wislicenus. Mit 11 Abb. Nr. 91.
- Astronomische Geographie** von Prof. Dr. S. Günther. Mit 52 Abbildungen. Nr. 92.
- Physische Geographie** von Prof. Dr. S. Günther. Mit 32 Abbildungen. Nr. 26.
- Physische Meereskunde** von Dr. Gerhard Schott. Mit 28 Abbildungen und 8 Tafeln. Nr. 112.
- Klimakunde. I: Allgemeine Klimalehre** von Prof. Dr. W. Köppen. Mit 2 Abbildungen und 7 Tafeln. Nr. 114.

Weitere Bände sind in Vorbereitung.



Sammlung Göschen

---

# Astronomische Geographie

von

Dr. Siegmund Günther

Professor an der Kgl. Technischen Hochschule in München

Mit 52 Abbildungen

Neudruck

~~~~~  
Leipzig

G. J. Göschen'sche Verlagshandlung

1905

*Stumpe*

*W. 24*

1-301314

Alle Rechte, insbesondere das Übersetzungsrecht, von der Verlagshandlung vorbehalten.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW

~~I 26~~

3PK-3-569/2016  
Spamersche Buchdruckerei, Leipzig

Akc. Nr.

~~3087~~ / 49

# Inhalt.

|                                                                                              | Seite |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| I. Wesen und Entwicklungsgang der astronomischen Geographie . . . . .                        | 5     |
| II. Beobachtungen, die bei unveränderter Stellung des Beobachters anzustellen sind . . . . . | 11    |
| III. Die Bewegungen der Sonne, des Mondes und der Planeten . . . . .                         | 22    |
| IV. Ortsbestimmungen an der Himmelskugel . . . . .                                           | 28    |
| V. Zeit und Zeitbestimmung . . . . .                                                         | 35    |
| VI. Die Beobachtungsinstrumente . . . . .                                                    | 40    |
| VII. Beobachtungstatsachen, die sich bei Ortsveränderung des Beobachters ergeben . . . . .   | 54    |
| VIII. Die Kugelgestalt der Erde . . . . .                                                    | 61    |
| IX. Ortsbestimmung auf d. kugelförmigen Erdoberfläche                                        | 69    |
| X. Erdmessung und schärfere Bestimmung der Erdgestalt . . . . .                              | 91    |
| XI. Die Entfernung der Himmelskörper von der Erde                                            | 106   |
| XII. Die Weltsysteme . . . . .                                                               | 118   |
| XIII. Die Gesetze der Planetenbewegung . . . . .                                             | 131   |
| XIV. Das Gravitationsgesetz in seiner Anwendung auf Himmel und Erde . . . . .                | 144   |

---



## Literaturverzeichnis.

- R. Wolf, Handbuch der Astronomie, ihre Geschichte und Literatur, zwei Bände, Zürich 1890—1892.
- S. Günther, Grundlehre der mathematischen Geographie und elementaren Astronomie, 5. Auflage, München 1900.
- S. Günther, Handbuch der mathematischen Geographie, Stuttgart 1890. (Band VII von Ratzels „Bibliothek geographischer Handbücher“.)
- Martus, Astronomische Geographie, ein Lehrbuch angewandter Mathematik, Leipzig 1880.
- A. J. Pick, Die elementaren Grundlagen der astronomischen Geographie, Wien 1883.
- Israel-Holtzwardt, Elemente der sphärischen Astronomie, Wiesbaden 1882.
- Epstein, Geonomie, Wien 1888.
- L. Baur, Fragen und Aufgaben aus der mathematischen Geographie, Stuttgart 1902.
- Reinhertz, Geodäsie, 2. Aufl., Leipzig 1902. (Sammlung Göschen.)
- Moebius, Astronomie, 9. Aufl., Leipzig 1900. (Sammlung Göschen.)
- F. Schulze, Nautik, Leipzig 1898. (Sammlung Göschen.)
- K. Geißler, Mathematische Geographie, Leipzig 1900. (Sammlung Göschen.) Vergriffen.
-

## I. Wesen und Entwicklungsgang der astronomischen Geographie.

Zu einer allseitig anerkannten Definition ihres Wesens hat es die astronomische Geographie, wie dies bei einem Grenzgebiete nicht verwunderlich erscheinen kann, noch nicht gebracht. Das Objekt, mit welchem sie sich beschäftigt, die Erde, gehört unzweifelhaft der Geographie an; die Hilfsmittel, deren sie sich zur Lösung der ihr gestellten Aufgaben bedient, sind der Astronomie entnommen. Insofern diese letztere nun auch selbst wieder ein Zweig der angewandten Mathematik ist, wäre man auch von mathematischer Geographie zu sprechen berechtigt; es wird sich indessen nicht leugnen lassen, daß jener letzteren vielfach ein weiteres Arbeitsfeld zugewiesen wird, als es das hier in Betracht kommende ist. Wenn als das Endziel der mathematischen Geographie die Forderung hingestellt wird, einen beliebigen, mit der Erde fest verbundenen Ort sowohl relativ auf der Erde selbst als auch, da letztere selbst wieder Bewegung besitzt, absolut gegen den Sternenhimmel zu fixieren, so soll an dieser Stelle weniger verlangt, die Gesamtheit der dem engeren Rahmen angehörigen Probleme dagegen möglichst umfassend erledigt werden. Wir stellen mithin als das Programm der astronomischen Geographie, so wie wir uns dieselbe denken, das folgende fest: Ermittelt sollen werden die Gestalt und Größe

des Erdkörpers, dessen Bewegungsverhältnisse im Raume und die Methoden der geographischen Ortsbestimmung; letztere im ausdrücklichen Zusammenhange mit der Frage, ob das Koordinatensystem, auf welches man sich zu beziehen pflegt, als ein vollkommen stabiles oder als ein selbst in seiner Lage veränderliches anzuerkennen sei.

Diese Begriffsbestimmung erscheint als eine klare und unzweideutige, so daß es insbesondere sofort möglich wird, eine reinliche Grenzscheidung gegen diejenigen beiden Disziplinen vorzunehmen, welche sich in der Tat mit der astronomischen Geographie nahe genug berühren und sehr häufig in deren Bereich auch übergreifen. Dies sind natürlich die Astronomie und die Geophysik oder physikalische Geographie. Wie Sonne, Planeten und Fixsterne beschaffen sind, welche Bewegungen im Kosmos sich vollziehen, berührt uns ganz und gar nicht; auch die Bewegungen der Planeten gehen uns nur insoweit an, als eben unsere Erde selbst zu diesen Gestirnen gehört. Daß die Chronologie und Kalendariographie ausgeschlossen bleiben müssen, versteht sich darnach ganz von selbst. Nicht minder gilt dies von der zeichnenden Wiedergabe irgendwelcher Teile der Erdoberfläche; sowohl die Kartenprojektionslehre, wie auch die Lehre von der Terraindarstellung haben sich vollständig emanzipiert und stützen sich zwar mehrfach auf die Tatsachen der astronomischen Geographie, können aber unmöglich mehr, wie dies in einem Zeitalter wenig fortgeschrittener Arbeitsteilung angehen mochte, als ein Bestandteil ersterer betrachtet werden. Wenn in Schulkompendien der mathematischen Erdkunde der Sachverhalt anders aufgefaßt wird, so lassen sich dafür ausschließlich Gründe der praktischen Zweckmäßigkeit, niemals aber solche geltend machen, welche irgendwie in der Natur der Sache begründet wären. Um auch nach der anderen Seite hin ein naheliegendes Beispiel anzuführen, so hat die Theorie der Gezeiten gar nichts mit der astronomischen Geographie zu tun. Auch die barometrische Höhenmessung würde, strenge genommen, beiseite bleiben müssen, und es ist nur als eine Konzession an die doch auch anzustrebende Vollständigkeit



aufzufassen, daß sie, die auf einer Anwendung physikalischer Lehrsätze beruht, in dem der geographischen Ortsbestimmung gewidmeten Abschnitte auch ihrerseits einen Platz angewiesen erhält.

Jedenfalls darf nunmehr der Umfang und Inhalt derjenigen Lehren, welche hier der astronomischen Geographie zugerechnet werden, als festgelegt angesehen werden. Unsere Disziplin nimmt alsdann nicht etwa eine externe Stellung, gewissermaßen in den Vorhöfen der Geographie, ein, sondern sie erscheint uns als ein vollberechtigtes und unentbehrliches Glied ihres Systemes. Astronomische, physikalische, biologische und Anthropogeographie machen zusammen die Allgemeine Erdkunde aus, welcher als spezielle die sogenannte Länderkunde gegenübersteht. In der Tat rechnen auch die meisten systematischen und methodologischen Werke mit dieser Gliederung der Geographie, und es ist kaum erforderlich, noch durch besondere Erwägungen eine Anschauung zu stützen, die sich in Fachkreisen nahezu ungeteilte Billigung erworben hat.

Die astronomische Erdkunde hat sich denn auch schon in den ältesten Zeiten Beachtung und Freunde zu sichern gewußt. Unter den Griechen der vorchristlichen Ära begegnen uns in Eudoxus, Eratosthenes und Hipparchus Männer, die sich einschlägige Aufgaben stellten und mit den zu Gebote stehenden Hilfsmitteln auch größtenteils lösten. Durch die pythagoreische Schule war der Fundamentalsatz aller Erkenntnis, von der Sphärizität der Erde, verfochten und zum Gemeingute aller damaligen Gebildeten gemacht worden, mochten auch die dafür angeführten Gründe nach unseren heutigen Begriffen nicht die triftigsten sein. Aristoteles verbesserte beträchtlich die Beweisführung und schuf so die Möglichkeit zu dem großen Fortschritte, welcher sich mit dem Namen des im III. vorchristlichen Jahrhundert lebenden gelehrten Bibliothekars von Alexandria, des Eratosthenes, verknüpft. Er war es, der zuerst nach einem prinzipiell richtigen Verfahren die Größe der Erdkugel mit einer für

den ersten Anfang ganz achtbaren Genauigkeit bestimmte, und auf ihn geht der Versuch zurück, die Lage eines Ortes auf der Erde mit Beziehung auf ein fest angenommenes Achsensystem festzulegen. Auf seinen und noch mehr auf den Schultern Hipparch's stehend, schuf drei- bis vierhundert Jahre später, wahrscheinlich in der Regierungszeit der römischen Kaiser Trajan und Hadrian, Ptolemäus das großartige Lehrgebäude der „*γεωγραφία*“, welches dreizehn Jahrhunderte lang als absolut klassisch galt und, in Verbindung mit dem großen astronomischen Handbuche des gleichen Autors, die Wissenschaft souverän beherrschte.

Allerdings nur innerhalb eines ziemlich engen Kreises, denn tiefere Vertrautheit mit Ptolemäus fehlte dem Mittelalter fast gänzlich. War doch lange Jahre sogar die Elementarwahrheit, welches die Gestalt der Erde sei, verloren gegangen, so daß man sich über dieselbe in den abenteuerlichsten Hirngespinnsten erging. Noch in der Merowingerzeit hatte Bischof Virgilius von Salzburg Anfechtungen zu erleiden, weil er lehrte, daß die Erde rund sei und auch auf der uns entgegengesetzten Seite bewohnt sein könne. Allmählich fand man die wichtigsten Sätze der astronomischen Geographie wieder auf, und in den kirchlichen Schulen, denen erst seit dem XIII. Jahrhundert auch weltliche Lehranstalten Konkurrenz zu machen beginnen, wurde unsere Disziplin bereits allgemein gelehrt, wenn auch natürlich in sehr bescheidenem Ausmaße. Weit gründlicher als im Abendlande betrieb man das Studium der astronomischen Geographie im Orient, und die arabischen Gelehrten haben sich sehr verdient gemacht nicht nur um die Wiederherstellung, sondern auch um die Fortbildung der Wissenschaft. Einen nachhaltigen Anstoß erhielt dieselbe durch das Entdeckungszeitalter und die in ihm sich stetig steigenden Ansprüche der Nautiker, welche auch auf offener See den Ort ihres Schiffes angeben zu können verlangten. Die erste Umsegelung der Erde durch die Spanier stellte neue große Ziele, denen nachgestrebt werden mußte. Und es läßt sich auch nicht leugnen, daß die hierher gehörigen Werke des XVI. Jahrhunderts, wie sie ein Petrus Apianus, Gemma Frisius, Orontius Finäus, Pedro Nunes u. a. geliefert haben, bereits einen ziemlich hohen Standpunkt erreicht haben.

Die Reform der astronomischen Beobachtungskunst durch Tycho Brahe beeinflusste die astronomische Geographie nur

mittelbar, und auch die großen Entdeckungen eines Copernicus und Kepler äußerten ihre Einwirkung nur insofern, als man sich mehr und mehr dazu gedrungen fühlte, den als unhaltbar erkannten geozentrischen Standpunkt aufzugeben und sich auf den heliozentrischen zu stellen. Die große Neuerung ist indessen selbst am Ende des XVII. Jahrhunderts noch nicht überall zum endgültigen Siege gelangt, und auch das Newtonsche Gesetz, dessen konsequente Durchführung auch in die dunkelsten und entlegensten Gebiete Licht bringen sollte, mußte sich die Anerkennung schrittweise erkämpfen. In den Lehrbüchern jedoch, welche vor nunmehr zweihundert Jahren zu erscheinen begannen, nimmt die astronomische oder mathematische Geographie mehr und mehr den ihr gebührenden Rang ein. Man erkannte auch, daß dieser Wissenszweig seine besondere Methodik und Didaktik haben müsse, und der Hinweis auf die Notwendigkeit, dem noch ungeübten Anschauungsvermögen durch Apparate und anderweite Hilfsmittel entgegenzukommen, begegnet immer häufiger. Freilich war noch ein großer Schritt zu tun, bis die richtigen Wege zur Erreichung des vielen vorschwebenden Zieles mit vollem Bewußtsein betreten wurden. Es wird sich jedoch nicht in Abrede stellen lassen, daß gerade das Aufklärungszeitalter und der Philanthropinismus mit seinen Bestrebungen, der heranwachsenden Jugend das Lernen angenehm zu machen, fördernd auch für die hier in Rede stehende Unterrichtsfrage wirken mußten.

Gleichwohl griff eine tiefere Auffassung dieser Fragen erst dann Platz, als der Altmeister der Pädagogik, A. Diesterweg, im zweiten Viertel des XIX. Jahrhunderts seine Aufmerksamkeit denselben zuwandte. Er zeigte, wie man den jugendlichen Geist stufenweise, an der Hand der alltäglichen Erfahrung, in das ihm zunächst noch neue Gebiet einführen und die Schwierigkeiten entfernen muß, welche der inneren Anschauung entgegenstehen. Die Diesterwegsche Richtung brach entschlossen mit der dogmatischen Lehrart, welche die Tatsachen als solche hinstellt und nachträglich mit Beweisen zu versehen unternimmt, die doch zumeist unverstanden bleiben und nur gedächtnismäßig aufgenommen werden; demgegenüber trat das genetische Verfahren in seine Rechte, welches die Erscheinungen selbst in den Vordergrund stellt und erst dann, wenn dieselben vollständig begriffen sind, nach einer Erklärung sich umsieht. Durchmustert man die neuere Fachliteratur,



so sieht man bald, daß die verkehrte Methode, den jugendlichen Geist möglichst rasch vom Zeugnis der Sinne abzuführen und mit Buchgelehrsamkeit zu speisen, noch keineswegs beseitigt ist, daß aber der heuristische Weg doch der häufiger betretene wurde. Unter denjenigen Schriftstellern, welche mit voller Entschiedenheit den psychologischen Forderungen gerecht wurden, steht in der neueren Zeit der Österreicher A. J. Pick obenan.

Das biogenetische Grundgesetz der modernen Deszendenzlehre glaubt feststellen zu können, daß in der Entwicklung eines jeden einzelnen Lebewesens binnen kürzester Frist alle die Zustände durchgemacht werden müßten, welche die betreffende Art im Verlaufe ungeheuer langer Zeiträume durchlaufen habe, ehe sie das geworden, als was man sie in der Gegenwart kennt. Die kurz währende Ontogenese, so wird dies ausgedrückt, ist gleich der Herausbildung der Art aus ihrem Stamme, gleich der Phylogenese. Ganz ähnlich, so regte schon Herbart an, möchte die Didaktik der astronomischen Geographie das Erkenntniswachstum des Anfängers sich vollziehen sehen. Lange Jahrhunderte waren erforderlich, um die denkende Menschheit, welche sich dereinst bei der naiven Kosmologie des homerischen Zeitalters beruhigte und an der vom Okeanos umflossenen Erdscheibe keinen Anstoß nahm, zu der Überzeugung zu bringen, daß der Sinneseindruck trägt, und daß in Wahrheit alles, was ruhig erscheint, beweglich ist, und alles, was bewegt erscheint, in Ruhe verharrt. Diesen Entwicklungsprozeß soll der Anfänger von heute in sich selbst nochmals durchleben, und dies kann nur geschehen, wenn der Unterricht völlig dieselben Bahnen einschlägt, auf denen die Wissenschaft vorangegangen ist. Man wird mithin am besten tun, nichts als bekannt vorauszusetzen, von den

allerersten Wahrnehmungen auf der Erde und am Himmel auszugehen und weiterhin stets so zu Werke zu gehen, wie dies die Begründer der astronomischen Geographie ihrerseits gemacht haben. Der geschichtliche Werdegang soll sich widerspiegeln in der Art und Weise, wie der Unterricht fortschreitet. Selbst die Irrwege, die gelegentlich nicht vermieden wurden, brauchen nicht verdeckt zu werden, denn niemals ist menschliches Wissen in ununterbrochener gerader Linie zum Ziele gelangt, und in vielen Fällen kann es sogar sehr belehrend sein, zu sehen, daß auch große Geister vom richtigen Pfade abkamen und einem Phantome nachjagten. Hiermit ist uns also die Einteilung und Gliederung unseres Stoffes ganz von selber vorgeschrieben. Wir nehmen unseren Ausgangspunkt bei den primitiven Wahrnehmungen, die einem jeden ohne Anwendung besonderer Hilfsmittel zu machen möglich ist, und schreiten erst dann zu weiteren Beobachtungen vor, wenn bei der bisherigen Annahme keinerlei neue Tatsachen mehr ausfindig gemacht werden können.

---

## II. Beobachtungen, die bei unveränderter Stellung des Beobachters anzustellen sind.

Wer sich an einem möglichst freien Platze aufstellt und von da aus Umschau hält, gewinnt den Eindruck, daß sich über ihm eine flache Kuppel, das Himmelsgewölbe, ausbreite, welche längs eines Kreises mit der Erde zusammenhängt. Zumeist ist dieser Kreis, den man Grenzkreis oder Horizont nennt, wenigstens

teilweise durch Berge, Wälder, Gebäude u. s. w. verdeckt, und nur derjenige, der sich an Bord eines Schiffes auf hoher See befindet, kann ihn seiner ganzen Ausdehnung nach überblicken. An und für sich sollte man erwarten, daß uns die Hohlfläche, an welcher die Sonne, der Mond und alle übrigen Gestirne befestigt zu sein scheinen, als eine vollständige Halbkugel erscheinen müßte; tatsächlich aber bewirkt eine optische Täuschung, daß wir ein gedrücktes Gewölbe zu sehen glauben. Der gleiche Grund ist es auch, der nach den Untersuchungen von Reimann es zuwege bringt, daß uns die Scheiben der Sonne und des Mondes in der Nähe des Horizontes besonders groß vorkommen, während doch eine genaue Messung darüber vergewissert, daß eine solche Vergrößerung eigentlich gar nicht vorhanden ist. Die astronomische Geographie kümmert sich jedoch nicht um den äußeren Schein, geht vielmehr von der Voraussetzung aus, daß, solange kein Anhaltspunkt für das Gegenteil gegeben ist, sämtliche Himmelskörper gleich weit vom Standorte des Beobachters entfernt seien. Letzterer befindet sich sonach im Mittelpunkte einer Hohlkugel, deren eine Hälfte er vollständig wahrnimmt, während die andere seinen Blicken entzogen bleibt. Der Horizont trennt die sichtbare und unsichtbare Halbkugel voneinander; er ist selbst ein Hauptkreis oder größter Kreis der Himmelskugel, deren Mittelpunkt in seiner Ebene gelegen ist.

Neben diesem Kreise treten an der Himmelskugel zunächst bloß zwei Punkte noch in die unmittelbare Erscheinung, nämlich dessen geometrische Pole, welche von jedem seiner Peripheriepunkte um  $90^{\circ}$  abstehen. Der eine dieser beiden Punkte, die offenbar



dadurch gefunden werden, daß man eine im Zentrum auf der Horizontalebene errichtete Senkrechte, die Vertikale, bis zum Durchschnitte mit der Himmelskugel verlängert denkt, ist sichtbar, der andere unsichtbar. Ersterer wird Scheitelpunkt oder Zenit, letzterer wird Fußpunkt oder Nadir genannt; die beiden Worte Zenit und Nadir stammen, wie so häufig in der astronomischen und mathematischen Nomenklatur, aus dem Arabischen. Man kann sich durch die Vertikallinie unzählig viele Ebenen hindurchgelegt denken, Vertikalebene, die sämtlich rechte Winkel mit der Horizontalebene einschließen. Diese Ebenen durchschneiden die Himmelskugel in größten Kreisen, die Zenit und Nadir gemeinsam haben; es sind die Vertikalkreise.

Irgend einen Punkt oder eine Gruppe von Punkten des Horizontes besonders auszuzeichnen, haben wir bis jetzt keine Veranlassung, und ganz ebenso verhält es sich natürlich mit den Vertikalkreisen. Dies ändert sich, wenn wir die tägliche Bewegung der Sonne, des Mondes oder irgend eines Sternes genauer betrachten. Wir bemerken nämlich alsdann, daß sämtliche Gestirne, sofern sie nicht etwa dauernd oberhalb des Gesichtskreises verweilen, auf der einen Seite des Horizontes sich über diesen erheben und auf einer anderen Seite wieder unter ihn herabsinken. Jeder aufgehende Himmelskörper erhebt sich über den Horizont, erreicht nach einiger Zeit seine größte Entfernung von demselben und nähert sich ihm dann wieder, um endlich unterzugehen. Längere Zeit hindurch fortgesetzte Betrachtung des gestirnten Himmels lehrt, daß die allermeisten Sterne — Sonne und Mond allerdings nicht — stets den gleichen

Auf- und Untergangspunkt besitzen. Denkt man sich je ein solches Punktepaar durch eine Gerade verbunden, die ihrer ganzen Ausdehnung nach in die Horizontalebene fällt, so erhält man in dieser eine Schar gerader Linien, die sämtlich parallel sind. Daß es sich so verhält, läßt sich nicht etwa beweisen; es ist dies vielmehr bloß eine aus der Anschauung hervorgegangene Erfahrungswahrheit, die durch jede neu vorgenommene Probe bestätigt wird.

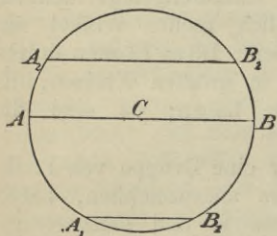


Fig. 1.

Wir sind damit zu einem Systeme paralleler Sehnen des Horizontalkreises gelangt;  $A_1B_1$ ,  $A_2B_2$  u. s. w. (Fig. 1) sollen zwei dieser Sehnen sein, und zwar sollen die Punkte A der Aufgangsseite, die Punkte B der Untergangsseite des Horizontes angehören. Das Zentrum C ist zugleich der Standort des

Beobachters. Unter den Sehnen wird sich auch eine befinden, die durch C hindurchgeht und durch diesen Punkt halbiert wird; es sei dies AB. Damit haben wir zwei Punkte A und B erhalten, die eine besondere Stellung einnehmen; A wird der Ostpunkt, B der Westpunkt genannt, weil dem bekannten Sprachgebrauche gemäß die Sterne im Osten auf- und im Westen untergehen. Den Kreisdurchmesser AB bezeichnen wir als Ostwestlinie. Wenn wir auf ihr im Punkte C ein Lot errichten, welches auch auf allen den übrigen Sehnen,  $A_1B_1$ ,  $A_2B_2$  u. s. w., senkrecht steht, so schneidet dasselbe den Grenzkreis in zwei weiteren ausgezeichneten Punkten, die es aber erst zu unterscheiden gilt.

Einstweilen bleiben wir bei dieser senkrechten Linie stehen, welche den Namen Mittagslinie führen soll. Diejenige Vertikalebene, welche die Mittagslinie in sich aufnimmt, heißt Meridianebene; der zugehörige Vertikalkreis heißt Mittags- oder Meridiankreis, wohl auch schlechtweg Meridian.

Die Mittagslinie ist für alle astronomischen Beobachtungen von großer Wichtigkeit, und es ist deshalb ihre Bestimmung eines der ersten Geschäfte dessen, der dem gestirnten Himmel erhöhte Aufmerksamkeit zu widmen gedenkt. Unter den verschiedenen Methoden, deren man sich zu diesem Zwecke bedienen kann, ist die einfachste die folgende. Man verzeichnet auf

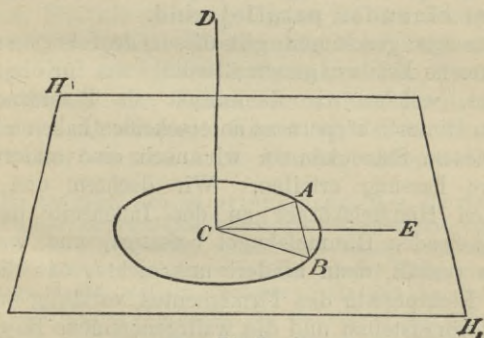


Fig. 2.

horizontaler Fläche  $HH_1$  einen beliebigen Kreis und bringt in dessen Mittelpunkte  $C$  (Fig. 2) einen dünnen Stab  $CD$  in vertikaler Richtung an. Hierauf markiert man denjenigen Punkt  $A$ , in welchem der Schatten  $CA$  des Stabes  $CD$  am Vormittage den Kreisumfang trifft, und ebenso den Punkt  $B$ , in welchem die Berührung des Schattenendes mit dem Umfang am Nachmittage stattfindet. Die Halbierungslinie  $CE$  des Winkels  $BCA$  ist identisch mit der Mittagslinie.

Wenn wir nämlich mit der Uhr in der Hand die scheinbare Bewegung eines Gestirnes verfolgen, so konstatieren wir, daß die Zeit, welche zwischen dem Aufgange und



dem Durchgange durch den Meridian verfließt, der Zeit vollkommen gleich ist, welche zwischen dem Passieren des Meridianes und dem Untergange liegt. Wenn das Gestirn den Meridian erreicht hat, ist es am weitesten vom Horizonte entfernt, es kulminiert, und der Kulminationspunkt ist für die große Mehrzahl aller Himmelskörper immer der gleiche. Die Beobachtung ergibt weiterhin, daß die Geschwindigkeit, mit welcher die Gestirne ihre Bahnen beschreiben, eine gleichförmige ist; in gleichen Zeiten werden gleiche Wege an der Himmelskugel zurückgelegt.

Wir kommen so zu nachstehendem Schlusse:

Sämtliche Gestirne bewegen sich mit konstanter Geschwindigkeit in Kreisbahnen, deren Ebenen einander parallel sind.

Strenge genommen gilt dieser dem Augenscheine entnommene Erfahrungssatz allerdings nur für diejenigen Gestirne, welche wir demnächst als Fixsterne von anderen Himmelskörpern zu unterscheiden haben werden.

Diesem Satze können wir noch eine andere, bequemere Fassung erteilen. Wir dachten uns jeden einzelnen Himmelskörper an der Innenseite der uns umschließenden Himmelskugel befestigt, und wenn es sich so verhält, dann hindert uns nichts, uns die einzelnen Lichtpunkte des Firmamentes vorläufig als unbewegt vorzustellen und die wahrgenommene Bewegung auf die Fläche zu übertragen, welcher sie angehören. Demzufolge nimmt der vorhin ausgesprochene Satz nunmehr die Gestalt an, in welcher er bis zum Zeitalter des Copernicus sich einer beinahe axiomatischen Geltung erfreute. Er lautet jetzt:

Die Himmelskugel dreht sich mit gleich bleibender Geschwindigkeit um die Himmels- oder Weltachse, die auch ihrerseits durch den Standort des Beobachters hindurchgeht und zugleich ein Durchmesser des Meridiankreises ist.



Diese Achse durchschneidet die Himmelskugel in zwei Punkten, die an der täglichen Bewegung keinen Anteil nehmen. Es sind die Pole, und zwar ist der eine derselben sichtbar, der andere unsichtbar. In Europa ist der Nordpol der sichtbare, der Südpol der unsichtbare.

Jetzt erst sind wir in den Stand gesetzt, die schon früher angedeutete Unterscheidung zwischen den beiden Punkten vorzunehmen, in denen die Mittagslinie den Horizont durchschneidet. Der dem Nordpole näher gelegene Schnittpunkt ist der Nordpunkt, und der dem Südpole näher gelegene ist der Südpunkt. Ostpunkt, Südpunkt, Westpunkt, Nordpunkt sind zusammen die vier Kardinalpunkte des Horizontes; sie bestimmen die Ecken eines dem Kreise eingeschriebenen Quadrates. Kennt man den einen der vier Punkte, so sind auch die drei anderen bekannt.

Die Aufgabe, sich zu orientieren, d. h. die vier Weltgegenden aufzufinden, fällt offenbar zusammen mit der Konstruktion der Mittagslinie, wenn man zudem auch die Lage des Poles kennt. Letzteres ist für unsere Erdstriche keine schwierige Sache, weil in nächster Nähe des Nordpales zur Zeit — in früheren Jahrhunderten verhielt es sich anders, und auch später wird es wieder anders sein — ein ziemlich heller Stern, der Polarstern, steht, der nur einen ganz kleinen Kreis um den geometrischen Drehungspol beschreibt. Man findet diesen Stern, wenn man die beiden „Hinterräder“ des sogenannten „Großen Wagens“ — oder „Großen Bären“ — durch eine gerade Linie verbindet und diese aufwärts verlängert. Der Südhalbkugel fehlt ein solcher Wegweiser, was die Seefahrer des XV. und XVI. Jahrhunderts, als sie sich jenen Himmelsstrichen näherten, zuerst in große Verlegenheit versetzte. Bei bedecktem Himmel verhilft, zumal den Seeleuten, zur Ermittlung der Weltgegenden die horizontal frei schwebende Magnethadel, deren Achse angenähert mit der Mittagslinie zusammenfällt. Freilich ist diese Koinzidenz nur

an einzelnen Erdstellen eine vollkommene; gewöhnlich muß man der magnetischen Abweichung oder Deklination Rechnung tragen, welche nach Ort und Zeit veränderlich ist (gegenwärtig in Süddeutschland ungefähr  $11^{\circ}$  westlich). Ein weiteres, nur selten trügendes Mittel, sich zurechtzufinden, gewährt der Umstand, daß der Chor der Kirchen fast durchaus gegen Osten gerichtet zu sein pflegt. Schon die alten Ägypter müssen, wie ihre Pyramiden beweisen, die vier Kardinalpunkte des Horizontes gekannt haben; bei den Römern aber nahm die Orientierung den Charakter eines bedeutsamen religiösen und bürgerlich-militärischen Aktes an. Kein Tempelbau durfte projektiert, keine Stadt gegründet, kein Lager geschlagen werden, ehe man nicht *Cardo* (Nordstüdlinie) und *Decumanus* (Ostwestlinie) mittels besonderer Instrumente festgelegt hatte. Selbstverständlich kann man jeden der vier rechten Winkel, welche im Durchschnitte der beiden Fundamentallinien entstehen, noch in eine beliebige weitere Zahl gleicher Teile teilen; so kommt die nautische Strichrose zustande, welche 32 Himmels- oder Windstriche unterscheidet.

Ehe wir die Verzeichnung weiterer Kreise und Punkte an der Himmelskugel in Angriff nehmen, müssen wir zuvor den Vorgang des Auf- und Untergehens der Sterne noch einmal näher betrachten. Sonne und Mond verhalten sich in der angegebenen Weise, und auch viele der Sterne befinden sich in dem gleichen Falle; dagegen gibt es auch solche, die immer oberhalb des Horizontes verweilen und mit einem guten Fernrohre auch bei Tage zu sehen sind. Daß es nicht anders sein kann, geht aus Fig. 3 hervor, in welcher S den Südpunkt, N den Nordpunkt, C den Standpunkt des Beobachters, P und P' die Pole vorstellen. Die Himmelskugel wird durch den Meridiankreis SPNP', in sogenannter orthographischer Projektion, abgebildet; das Auge des Zeichners befindet sich in der verlängerten Ostwestlinie, und zwar in unendlicher Entfernung. Ziehen wir dann die Sehnen NN' und SS' so, daß dieselben auf der Himmelsachse PP' senkrecht stehen, so zerfällt offenbar die ganze Himmelskugel in drei Teile, nämlich in die Kugelhaube NPN', in die gleichgroße Kugelhaube SP'S' und in die Zone NN'SS'. Eine jede Parallelsehne TT', die in der erstgenannten Kalotte verläuft, fällt ganz in die sichtbare Hälfte der Himmelskugel, und ebenso fällt jede Parallelsehne UU' der anderen Kalotte ganz in die

unsichtbare Hälfte der Himmelskugel. Jede analoge Sehne  $VV'$  der Zone  $NN'SS'$  endlich wird von der Mittagslinie geschnitten und in zwei Teile  $VW$  und  $WV'$  zerlegt, deren erster sichtbar, deren zweiter unsichtbar ist. Denken wir uns wieder die Tageskreise selbst an die Stelle der Sehnen gesetzt, welche erstere in der gewählten Abbildung vertreten, so leuchtet ohne weiteres die Richtigkeit der folgenden Behauptung ein:

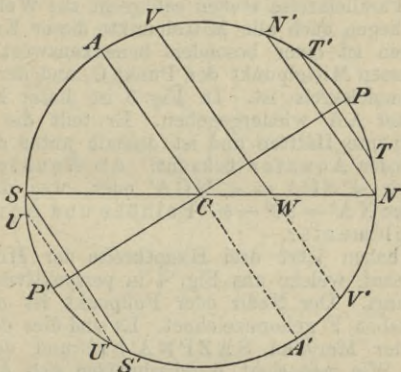


Fig. 3.

Außer den auf- und untergehenden Sternen gibt es noch zwei Klassen von sogenannten Zirkumpolarsternen. Für den Europäer gehen die nördlichen Zirkumpolarsterne niemals unter, die südlichen niemals auf.

Der durch den Bogen  $NP = SP'$  gemessene Winkel  $NCP$  oder  $SCP'$ , der von nun an stets durch den Buchstaben  $\varphi$  dargestellt sein möge, führt den Namen Polhöhe. Die Kreise der täglichen Bewegung, deren Ebenen, wie wir sahen, parallel sind, haben wir



deswegen ein Recht, Parallelkreise zu nennen. Um die beiden Kalotten der Zirkumpolarsterne abzugrenzen, muß man bezüglich durch den Nord- und Südpunkt des Horizontes je einen Parallelkreis gelegt denken. Der Winkel, den jeder Parallelkreis mit der Horizontalebene bildet, ist der Figur zufolge gleich  $90^\circ - \varphi$ .

Alle Parallelkreise stehen senkrecht zur Weltachse, und auf dieser liegen auch alle Mittelpunkte dieser Kreise. Von den letzteren ist einer besonders bemerkenswert; derjenige nämlich, dessen Mittelpunkt der Punkt C, und der mithin ein größter Himmelskreis ist. In Fig. 3 ist dieser Kreis durch den Diameter AA' wiedergegeben. Er teilt die Sphäre in zwei kongruente Hälften und ist deshalb unter dem Namen Gleicher oder Äquator bekannt. Als Äquatorhöhe bezeichnen wir  $\sphericalangle SCA = \sphericalangle NCA'$  oder, was dasselbe ist,  $\text{arc } SA = \text{arc } NA' = 90^\circ - \varphi$ . Polhöhe und Äquatorhöhe sind komplementär.

Wir haben jetzt drei Hauptkreise der Himmelskugel kennen gelernt, welche uns Fig. 4 in perspektivischer Zeichnung vorführt. Der Nadir oder Fußpunkt ist darin durch den Buchstaben F gekennzeichnet. Es sind dies der Horizont SONW, der Meridian SAZPNA'FP' und der Äquator AWA'O. Wie man sieht, durchschneiden sich Äquator und Horizont längs der Ostwestlinie. Von weiteren größten Kreisen soll zunächst nur noch einer Beachtung finden, nämlich der auf Meridian und Horizont senkrecht stehende, durch die vier Punkte Z, O, F, W bestimmte erste Vertikal. Da sämtliche Hauptkreise einer Kugel sich gegenseitig halbieren, so kann jeder der erwähnten größten Kreise, einzig den Horizont ausgenommen, nur zur Hälfte sichtbar sein.

Nachdem wir so auf der Himmelskugel eine Reihe von Linien abgesteckt haben, welche es ermöglichen, genauere Ortsbestimmungen vorzunehmen, wenden wir uns wieder den einzelnen Gestirnen und den von ihnen beschriebenen Bahnen zu. Längere Zeit hindurch fortgesetzte Beobachtungen lassen uns erkennen, daß, soweit wenigstens der erste Augen-

schein reicht, die eigentlichen Sterne ausschließlich an der Umdrehung der Himmelskugel teilnehmen, eigene Bewegung dagegen nicht wahrnehmen lassen. Diese Sterne sind die sogenannten Fixsterne, die man bequemerer Übersicht halber in Gruppen oder Stern-

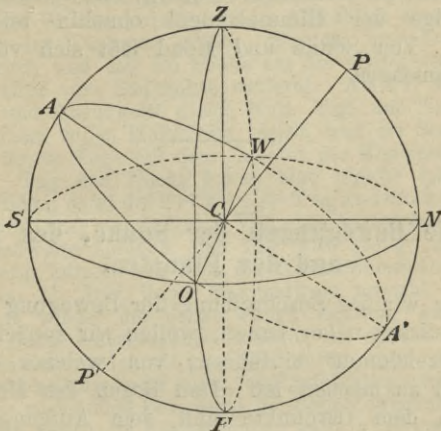


Fig. 4.

bildern zusammenfaßt. Bildet man aus beliebigen Fixsternen irgendwelche geometrische Figuren, so behalten diese jahraus jahrein die nämliche Gestalt und Größe bei; ihre Seiten und Winkel erleiden keine Änderung. Anders verhält es sich mit einigen wenigen Sternen, die sich, wenigstens größtenteils, auch äußerlich durch ihren ruhigen Glanz von den funkelnden, szintillierenden Fixsternen unterscheiden. Merkt man sich die Stelle, welche ein Stern dieser zweiten Klasse inner-

halb eines Sternbildes einnimmt, so kann man zumeist schon im Verlaufe weniger Tage eine Ortsveränderung desselben gegenüber den stabilen Fixsternen feststellen. Den Wandelsternen oder Planeten (*πλανᾶσθαι*) kommt eine eigene, selbständige Bewegung zu, abgesehen von der Rotationsbewegung, an welcher sie als Angehörige der Himmelskugel ohnehin teilnehmen müssen. Von Sonne und Mond läßt sich völlig das gleiche aussagen.

---

### III. Die Bewegungen der Sonne, des Mondes und der Planeten.

Ehe wir der Beschreibung der Bewegung unseres Tagesgestirnes näher treten, wollen wir zunächst noch eine Bezeichnung einführen, von welcher vielfach Gebrauch zu machen ist. Den Bogen des Horizontes zwischen dem Ostpunkte und dem Aufgangspunkte eines Gestirnes nennen wir dessen Morgenweite; ihr entspricht am Westhimmel die Abendweite. Morgen- und Abendweite können ebensowohl nördlich als südlich sein. Die Morgen- und Abendweite eines Gestirnes sind einander gleich. Das ist eine einfache Folge des elementargeometrischen Satzes, daß Kreisbogen zwischen parallelen Sehnen gleichgroß sind. Eine weitere, sich ganz von selbst verstehende Bezeichnung ist für die Sonne Tag- und Nachtbogen. Handelt es sich um ein anderes auf- und untergehendes Gestirn, so spricht man besser von Sichtbarkeits- und Unsichtbarkeitsbogen.



Nunmehr richten wir unser Augenmerk auf die Sonne an demjenigen Tage, der erfahrungsgemäß der kürzeste unter allen ist, also am 21. Dezember. Morgen- und Abendweite sind groß, die Kulminationshöhe ist klein, der von der Sonne beschriebene Kreisbogen erhebt sich nur wenig über den Horizont. So bleiben die Verhältnisse einige Tage lang, und wer nicht über feinere Beobachtungsmittel verfügt, muß glauben, daß die Sonne gar keine Eigenbewegung habe. Es ist die Zeit des Wintersolstitiums. Allmählich aber bemerkt man, daß der Tagbogen größer, Morgen- und Abendweite kleiner wird, und daß die Sonne um die Mittagsstunde sich immer weiter vom Südpunkte entfernt. Am 21. März sind Morgen- und Abendweite gleich Null, Tag- und Nachtbogen sind je einem vollen Halbkreise gleich, und die Sonnenbahn fällt an diesem Tage mit dem Äquator der Himmelskugel zusammen. Tag und Nacht haben eine gleiche Länge von je 12 Stunden; es ist die Frühlings-Tagundnachtgleiche (Äquinoktium) eingetreten. Von nun an werden Morgen- und Abendweite nördlich, der Tag wird stetig länger, die Nacht stetig kürzer, und auch die Kulminationshöhe wächst, bis sie am 21. Juni ihren Maximalwert erreicht hat. Da auch jetzt wieder die Sonne einige Zeitlang ganz in der gleichen Bahn einherzugehen scheint, so spricht man von einem Sommersolstitium, und dafür kann man auch Sommersonnenwende sagen, weil tatsächlich nach wenigen Tagen die rückläufige Bewegung der Sonne offenkundig wird. Von da an treten die Erscheinungen ganz in der umgekehrten Reihenfolge wieder ein, so daß am 23. September die Herbsttagundnachtgleiche erreicht wird. Der Tag wird kürzer, die Nacht länger, die Kulminationshöhe nimmt ab, und am 21. Dezember sind wir wieder beim Wintersolstitium angelangt, dem aus gleichem Grunde, wie oben, weil jetzt die Richtung der Bewegung die entgegengesetzte wird, der Name Wintersonnenwende verliehen werden kann.

Dies ist der wirkliche Befund. Wenn wir uns durch diejenigen beiden Punkte, in denen sich der Sonnenmittelpunkt am 21. Juni und am 21. Dezember mittags um 12<sup>h</sup> befindet, je einen Kreis parallel zum Äquator gelegt denken, den Wendekreis des Krebses und den Wendekreis des Steinbockes, so können wir unsere bisherigen Erfahrungen zunächst einmal in dem nachstehenden Satze zusammenfassen:

Die Sonne bewegt sich in einer sehr flachgängigen Schraubenlinie zwischen den beiden Wendekreisen, indem sie vom 21. Dezember bis zum 21. Juni eine südnördliche und wieder vom 21. Juni bis zum 21. Dezember eine nordsüdliche Richtung einhält.

Schon die Griechen wußten, daß dieser Augenschein mit der Wirklichkeit nicht übereinstimmt. Offenbar kombiniert sich die wirkliche Bewegung der Sonne mit der Umdrehung der Himmelskugel um die Weltachse, und wir müssen deshalb die erstere für sich allein zu verstehen trachten. Wollen wir die Fortbewegung eines Wanderers oder eines Heeres auf der Erdoberfläche erforschen, so bezeichnen wir auf der Landkarte alle die von jenem berührten Punkte und verbinden sie schließlich durch einen Linienzug. Genau ebenso können wir, sobald die Karte durch einen Sternglobus ersetzt worden ist, auf diesem die Bahn eines Wandelsternes verzeichnen. Ganz unmittelbar läßt sich dieses Verfahren auf die Sonne nun freilich nicht übertragen, weil zugleich mit ihr kein Stern am Himmel sichtbar ist. Suchen wir aber jeweils diejenigen Sterne auf, welche von der Sonne genau um  $180^\circ$  abstehen und folglich um  $12^h$  mitternachts die gleiche Kulminationshöhe aufweisen, so haben wir in ihnen die Marksteine der gesuchten Sonnenbahn erhalten. Ziehen wir letztere auf dem Globus, so ergibt sich:

Die Sonne beschreibt alljährlich einen größten Kreis der Himmelskugel, welcher mit dem Äquator einen Winkel von angenähert  $23\frac{1}{2}^\circ$  bildet.

Dieser Kreis wurde im griechischen Altertum Ekliptik (*ἑκλειπτικὸς κύκλος*) genannt, weil eine Finsternis (*ἑκλειψις*, des Mondes oder der Sonne) nur dann eintreten kann, wenn die beiden in Betracht kömmanden Himmelskörper sich in nächster Nähe der Durchschnittspunkte von Äquator und Ekliptik befinden. Diese beiden Punkte sind die Knotenpunkte; im aufsteigenden Knoten steht die Sonne zur Zeit des Frühlings-

äquinoktiums, im absteigenden Knoten zur Zeit des Herbstäquinoktiums. Der von Äquator und Ekliptik gebildete spitze Winkel ist die Schiefe der Ekliptik; dieselbe ist langsamen Schwankungen zwischen zwei nicht allzuweit auseinanderliegenden Grenzen unterworfen, so daß die oben angegebene Zahl bloß als Mittelwert anzusehen ist.

Die Zeitdauer, deren es bedarf, damit die Sonne von einem ausgezeichneten Punkte ihrer Bahn bis zum nämlichen Punkte zurückkehrt, nennen wir ein Jahr. Ein solches umfaßt ungefähr  $365^d 6^h$ ; indessen ist dieser Wert, der dem sogenannten Julianischen Kalender zugrunde lag, ein wenig zu groß, und im Laufe der Zeit mußte der an sich geringfügige Fehler durch Summation wachsen; in 128 Jahren kam eine Differenz von einem vollen Tage zustande, und im Jahre 1582 war diese Differenz bereits auf  $10^d$  angewachsen. Die Reform, aus welcher der Gregorianische Kalender hervorging, glich den Fehler fast vollständig aus, und wenigstens für die nächsten zwei Jahrtausende wird die Übereinstimmung zwischen der Zeitrechnung und den Vorgängen am Himmel eine in jeder Hinsicht befriedigende sein.

Wenn man die Bewegung des Mondes untersucht, so findet man bald, daß dieselbe derjenigen der Sonne in allen wichtigen Punkten ähnelt. Der erste Eindruck ist auch hier der, daß der Mond zwischen zwei Grenzkreisen in einer Schraubenlinie von sehr geringer Höhe der einzelnen Schraubengänge hin und her geht, und wenn man dann die einzelnen Mondstellungen auf der künstlichen Himmelskugel einzeichnet, was diesmal, bei der geringeren Leuchtkraft dieses Himmelskörpers, noch leichter als vorhin ist, so erscheint die Mondbahn abermals als ein Hauptkreis der Himmelskugel. Der Winkel zwischen Mond- und Sonnenbahn ist wenig größer als 5 Grad. Nur hinsichtlich des äußeren Ansehens besteht zwischen Sonne und Mond



ein großer Unterschied, indem der letztere sehr abweichende Lichtgestalten oder Phasen erkennen läßt. Wenn Sonne und Mond in Konjunktion, d. h. annähernd am nämlichen Orte der Himmelskugel stehen, so ist letzterer unsichtbar; man hat Neumond. Sobald dann die Winkeldistanz beider Weltkörper  $90^{\circ}$  geworden ist, steht der Mond im ersten Viertel, und es ist genau die Hälfte seiner Scheibe erleuchtet. Die Opposition tritt ein, wenn zwischen Sonne und Mond ein voller Halbkreis liegt; dann geht der Mond auf und unter, wenn die Sonne bezüglich unter- und aufgeht, und die ganze Scheibe ist voll erleuchtet. Es ist Vollmond eingetreten. Von da ab nähert sich der Mond wiederum der Sonne, und wenn sie nur noch  $90^{\circ}$  voneinander entfernt sind, steht der Mond im letzten Viertel; es ist wiederum eine Hälfte der Mondscheibe erleuchtet, die andere dunkel. „Luna est mendax“, lautet ein altes Sprichwort; „si crescit, decrescit; si autem decrescit, crescit.“ Der Sinn dieser Gedächtnisregel geht dahin, daß der Mond im ersten Viertel an den Buchstaben D und im letzten Viertel an den Buchstaben C erinnert. Beiläufig trifft diese Regel nur in mittleren Breiten zu, denn in mehr dem Äquator sich nähernden Ländern verläuft die Linie, welche die beiden Spitzen der Mondsichel verbindet, ungefähr horizontal, und der Mond macht kurz vor und nach dem Neumonde den Eindruck eines in der Luft schwimmenden Kahnes. Die beiden Viertel werden als Quadraturen, die beiden anderen Phasen werden als Syzygien (*τὸ συζύγιον*, das Paar) zusammengefaßt. Durch die vier Punkte, in denen sich der Mondmittelpunkt zur Zeit der Syzygien und Quadraturen befindet, wird der vom Monde beschriebene Kreis in seine vier Quadranten zerlegt; die

vier Punkte, welche jeden solchen Quadranten halbieren, heißen Oktanten.

Minder einfach gestalten sich die Bewegungen der mit unbewaffnetem Auge sichtbaren Planeten. Zunächst tritt ein tiefgehender Unterschied hervor zwischen den sogenannten unteren und oberen Planeten; zu ersteren gehören Merkur und Venus, während als die letzteren Mars, Juppiter und Saturn namhaft zu machen sind. Die unteren Planeten sind niemals weit von der Sonne entfernt, haben nur eine geringe Elongation, so daß es z. B. schwer hält, den Merkur ohne Fernrohr aufzufinden. Um so heller erstrahlt Venus, ob sie nun als Morgenstern (Phosphorus, Luzifer) am Osthimmel oder als Abendstern (Hesperus) am Westhimmel sichtbar wird. Daß beide Sterne Erscheinungsformen des gleichen Planeten sind, wußte bereits Pythagoras. Die oberen Planeten schweifen frei über den ganzen Himmel, indem sie allerdings aus einem die Ekliptik umgebenden Gürtel, Tierkreiszone genannt, niemals heraustreten. Verschafft man sich von dem Wesen ihrer Bahnen in der uns schon geläufigen Weise nähere Kenntnis, indem man die wechselnden Örter auf einem Himmelsglobus markiert, so sieht man bald, daß jene Einfachheit hier nicht mehr besteht, welche die Bahnen von Sonne und Mond auszeichnet. Nachdem diese Planeten nämlich längere Zeit rechtläufig gewesen sind, d. h. sich in derselben Richtung, wie Sonne und Mond, fortbewegt haben, werden sie plötzlich stationär und legen dann eine Strecke in rückläufiger oder retrograder Bewegung zurück, um hierauf wieder in den früheren Bewegungssinn einzulenken. Während bei den unteren Planeten dieser Wechsel sich wesentlich in der gleichen Bahn vollzieht, kommt es bei den oberen häufig zur Schleifenbildung. Auf die Erklärung dieser Bewegungen kann erst später eingegangen werden.

Zum Schlusse dieses Abschnittes dürfte es sich empfehlen, den Sinn der Worte Aufgang und Untergang eines Sternes, wie er zumal im Altertum üblich war, schärfer zu präzisieren. Ein Stern geht heliakisch auf, wenn er erstmalig aus den Sonnenstrahlen hervortritt; er geht heliakisch unter, wenn er in den Sonnenstrahlen verschwindet. Gehen Stern und Sonne gleichzeitig auf und unter, so hat man den kosmischen Auf- und Untergang des ersteren. Geht endlich ein Stern

in dem Momente auf oder unter, da die Sonne unter- oder aufgeht, so ist dies der akronyktische Auf- oder Untergang.

#### IV. Ortsbestimmungen an der Himmelskugel.

Wir waren im vorigen Abschnitte unausgesetzt genötigt, Positionen am Himmel festzulegen, und es tritt jetzt die Pflicht an uns heran, diese Ortsbestimmung nach festen Regeln vorzunehmen. Wir müssen uns zu dem Ende an dasselbe Prinzip halten, welches

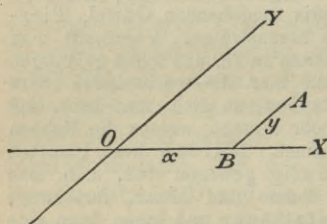


Fig. 5.

man beobachtet, wenn man einen Punkt in der Ebene auf seine Koordinaten bezieht. Es werden (Fig. 5) zwei Achsen OX und OY angenommen, die gewöhnlich einen rechten

Winkel miteinander bilden, obwohl dies keine unerläßliche Bedingung ist; der Punkt O ist

Anfangspunkt oder Ursprung des Koordinatensystemes. Zieht man die Gerade AB durch den zu fixierenden Punkt A parallel zu OY bis zum Durchschnitt mit der Achse OX, so ist A durch seine Koordinaten  $OB = x$  (Abszisse) und  $AB = y$  (Ordinate) eindeutig bestimmt, sobald noch durch die Vorzeichenwahl festgestellt ist, welchem der vier Quadranten, in die durch die beiden Achsen die Ebene zerlegt wird, der Punkt A angehört. Das nachfolgende,



der Fig. 6 angepaßte Schema wird diesen Sachverhalt vollständig aufklären:

$$A_1 \begin{cases} +x \\ +y \end{cases} \quad A_2 \begin{cases} -x \\ +y \end{cases} \quad A_3 \begin{cases} -x \\ -y \end{cases} \quad A_4 \begin{cases} +x \\ -y \end{cases}$$

Die dem Punkte A beigefügten Indices entsprechen den vier Quadranten:  $A_1$  liegt im Quadranten I,

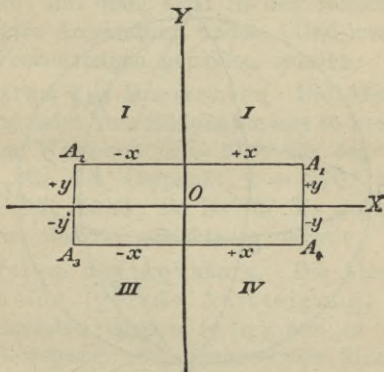


Fig. 6.

$A_2$  im Quadranten II,  $A_3$  im Quadranten III,  $A_4$  im Quadranten IV.

Wenn wir diese Art der Ortsbestimmung auf die Sphäre übertragen, vereinfacht sich noch erheblich die Aufgabe der eindeutigen Festlegung eines Punktes. Denn da die Kugelfläche geschlossen ist, so können wir die Abszissen, die natürlich, ebenso wie die Ordinaten, in Bogenmaß ausgedrückt sein müssen, von  $0^{\circ}$  bis  $360^{\circ}$  im Kreise herumzählen, und zur Unterscheidung durch Vorzeichen brauchen wir lediglich bei

den Ordinaten unsere Zuflucht zu nehmen. In Fig. 7 ist wiederum  $O$  der Anfangspunkt des sphärischen Koordinatensystemes, und durch  $O$  sind zwei aufeinander senkrecht stehende Kreise hindurchgelegt; von einem schiefwinkligen Achsensysteme sieht die astronomische Geographie grundsätzlich ab. Die Pole

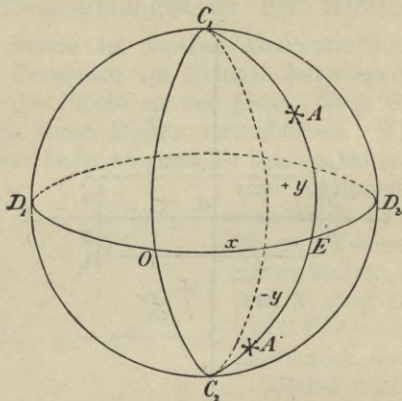


Fig. 7.

der beiden Achsenkreise sind beziehungsweise  $C_1$  und  $C_2$ ,  $D_1$  und  $D_2$ . Die Ortsbestimmung ist dadurch gegeben, daß man den Punkt  $A$  durch einen Hauptkreis mit  $C_1$  und  $C_2$  verbindet; der Kreis schneidet die  $X$ -Achse in  $E$ . Dann ist, ganz unserer planimetrischen Konstruktion gemäß,  $OE = x$  die Abszisse,  $AE = y$  die Ordinate des Punktes  $A$ ;  $OE$  schwankt zwischen den Werten  $0^\circ$  und  $360^\circ$ ,  $AE$  zwischen den Werten  $0^\circ$  und  $90^\circ$ . Lage der Punkt  $A'$  unter sonst gleichen

Umständen auf der anderen Halbkugel, so wären seine Koordinaten  $OE = x$  und  $A'E = -y$ .

Wir haben bisher drei größte Kreise der Himmelskugel kennen gelernt, die eine selbständige Rolle zu spielen haben, nämlich den Horizont, den Äquator und die Ekliptik. Jeder dieser drei Kreise kann als Abszissenkreis dienen, und wir erhalten so drei sphärische Koordinatensysteme, die denn auch in der Wissenschaft die mannigfaltigste Anwendung finden. Und zwar sind die folgenden Festsetzungen getroffen worden:

I. System des Horizontes. Die Abszisse heißt Azimut und wird vom Südpunkte aus so herumgezählt, daß für den Westpunkt  $x = 90^\circ$ , für den Nordpunkt  $x = 180^\circ$ , für den Ostpunkt  $x = 270^\circ$  wird. Die Ordinate heißt Höhe; sie ist für die sichtbare Halbkugel positiv, für die unsichtbare negativ.

II. System des Äquators. Die Abszisse heißt Rektaszension (gerade Aufsteigung) und wird vom aufsteigenden Knoten (s. o.) aus in einem der täglichen Bewegung entgegengesetzten Sinne gezählt. Die Ordinate, Deklination genannt, hat auf der Nordhalbkugel das positive, auf der Südhalbkugel das negative Vorzeichen.

III. System der Ekliptik. Die Abszisse oder astronomische Länge wird ebenso und im gleichen Sinne gezählt, wie die Rektaszension. Die Ordinate oder astronomische Breite wird auf der ekliptischen Nordhalbkugel positiv, auf der ekliptischen Südhalbkugel negativ genommen.

Hiermit ist ersichtlich eine eindeutige Bestimmung jedweden Sternortes für jedes der drei Systeme ermöglicht. Doch bedarf es noch einiger Zusätze, um allen in der Praxis vorkommenden Fällen gerecht werden zu können.



Statt des Bogens  $AE$  oder  $A'E$  könnte ebensogut dessen Komplement, der Bogen  $AC_1$  oder  $A'C_2$ , genommen werden. Die Begriffe Zenitdistanz, Poldistanz, Ekliptikpoldistanz sind unmittelbar einleuchtend. Auch erkennt man sofort die Richtigkeit der nachstehenden drei Beziehungen:

$$\text{Zenitdistanz plus Höhe} = 90^\circ,$$

$$\text{Poldistanz plus Deklination} = 90^\circ,$$

$$\text{Ekliptikpoldistanz plus astronomische Breite} = 90^\circ.$$

Alle Punkte, für welche die Abszisse die gleiche ist, liegen auf einem durch die Punkte  $C_1$  und  $C_2$  hindurchgehenden Hauptkreise (Höhen- oder Vertikalkreis, Deklinationskreis, Breitenkreis). Alle Punkte von gleicher Ordinate erfüllen einen kleinen Kugelkreis (Almukantarar, Parallelkreis, Parallel der Ekliptik), dessen Ebene zu derjenigen des Kreises  $D_1OD_2$  parallel verläuft. Von den Deklinationskreisen sind besonders die beiden Koluren hervorzuheben. Der Kolor der Äquinoktien geht durch die Weltpole und durch die beiden Äquinoktialpunkte, der Kolor der Solstitien durch erstere und die Solstitialpunkte hindurch.

Statt der Rektaszension findet bei astronomischen Berechnungen vielfach auch eine andere Abszisse Verwendung. Dies ist der Stundenwinkel, gemessen durch den Äquatorbogen, der zwischen dem Meridiane und dem Deklinationskreise des zu bestimmenden Punktes liegt. Das Vorzeichen des Stundenwinkels ist positiv oder negativ, je nachdem derselbe der West- oder Ostseite der Himmelskugel angehört.

Rektaszension und Stundenwinkel können sowohl in Bogenmaß wie auch in Zeitmaß angegeben werden. Denn da in 24 Stunden alle Punkte des Äquators, und zwar mit gleichförmiger Geschwindigkeit, den Meridian passieren, so sind  $24^h$  äquivalent  $360^\circ$ . Eine äquatoriale Abszisse habe in Bogenmaß den Wert  $a^\circ$ , in Zeitmaß den Wert  $t^h$ , so läßt sich diese Proportion ansetzen:

$$a : 360 = t : 24.$$

Es sei z. B.  $a = 46^\circ 38' 30''$ , dann ist der zugehörige Zeitwert gleich

$$\frac{(46 \cdot 3600 + 38 \cdot 60 + 30) 24}{360} = \frac{167910}{15} = 11194 \text{ Sekunden}$$

gleich 186 Minuten 34 Sekunden oder gleich  $3^h 6^m 34^s$ . Und ganz analog führt unsere Proportion zur Kenntnis des

Bogenwertes, wenn die fragliche Abszisse in Zeit gegeben vorliegt.

Nicht selten wird die Aufgabe gestellt, eine Transformation der sphärischen Koordinaten vorzunehmen, von einem Koordinatensysteme in das andere überzugehen. Wir wollen dieselbe ganz allgemein mittels der sphärischen Trigonometrie zu lösen suchen. S (Fig. 8) sei der fragliche Punkt,

$D_1 D_2$  und  $E_1 E_2$  seien die beiden Abszissenkreise, die sich im Punkte C unter einem gegebenen Winkel  $\varepsilon$  durchschneiden; C soll von  $D_1$  und  $D_2$  ebenso wie von  $E_1$  und  $E_2$  je um  $90^\circ$  abstehen. Wenn  $P_1$  Pol des Hauptkreises  $D_1 D_2$  und  $P_2$  Pol des Hauptkreises  $E_1 E_2$  ist, so muß arc  $P_1 P_2 = \varepsilon$  sein. Die Hauptkreisbogen  $P_1 S$  und  $P_2 S$  schneiden die beiden Abszissenkreise bezüglich in den Punkten  $T_1$  und  $T_2$ . Der Anfangspunkt  $O_1$  der Abszissenzählung in  $D_1 D_2$  sei von C um den Bogen  $O_1 C = a'$  und ebenso der Anfangspunkt  $O_2$  der Abszissenzählung in  $E_1 E_2$  um den Bogen  $O_2 C = a''$  entfernt. Nunmehr fassen wir das Kugeldreieck  $P_1 P_2 S$  ins Auge; in ihm ist, wenn wir die bisher verwendeten Bezeichnungen angemessen erweitern,

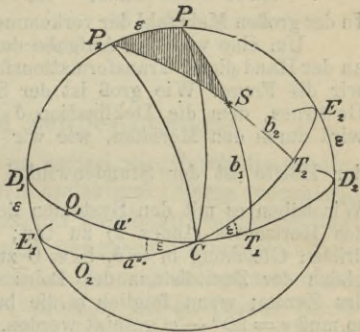


Fig. 8.

Seite  $P_1 P_2 = \varepsilon$ , Seite  $P_1 S = 90^\circ - b_1$ , Seite  $P_2 S = 90^\circ - b_2$ ,  $\sphericalangle P_2 P_1 S = 90^\circ + a_1 - a'$ ,  $\sphericalangle P_1 P_2 S = 90^\circ - a_2 + a''$ .

Der am Sterne S selbst gelegene Winkel wird nur ausnahmsweise in die Rechnung eingeführt. Durch einmalige Anwendung des sogenannten Sinussatzes, zweimalige des sogenannten Kosinussatzes gelangt man zu folgenden drei Gleichungen:

$$\frac{\sin(90^\circ - b_1)}{\sin(90^\circ - b_2)} = \frac{\sin[90^\circ - (a_2 - a')]}{\sin[90^\circ + (a_1 - a')]}$$

$$\cos(90^\circ - b_1) = \cos \varepsilon \cos(90^\circ - b_2) + \sin \varepsilon \sin(90^\circ - b_2) \\ \times \cos[90^\circ - (a_2 - a'')],$$

$$\cos(90^\circ - b_2) = \cos \varepsilon \cos(90^\circ - b_1) + \sin \varepsilon \sin(90^\circ - b_1) \\ \times \cos[90^\circ + (a_1 - a')].$$

Vereinfacht lauten dieselben:

$$\begin{aligned} \cos b_1 \cos(a_1 - a') &= \cos b_2 \cos(a_2 - a''), \\ \sin b_1 &= \cos \varepsilon \sin b_2 + \sin \varepsilon \cos b_2 \sin(a_2 - a''), \\ \sin b_2 &= \cos \varepsilon \sin b_1 - \sin \varepsilon \cos b_1 \sin(a_1 - a'). \end{aligned}$$

In der großen Mehrzahl der vorkommenden Fälle ist  $a' = a'' = 0$ .

Um eine wichtige Aufgabe der astronomischen Erdkunde an der Hand dieser Transformationsformeln zu erledigen, stellen wir die Frage: Wie groß ist der Sichtbarkeitsbogen  $s_1$  eines Gestirnes, dem die Deklination  $\delta$  zukommt? Der Bogen  $s_1$  wird durch den Meridian, wie wir wissen, halbiert; das Maß der Hälfte ist der Stundenwinkel  $\frac{s_1}{2}$  des Aufgangspunktes.

Wir haben es mit den Systemen des Äquators (Index 1) und des Horizontes (Index 2) zu tun; demgemäß ist in unserer dritten Gleichung  $b_1 = \delta$ ,  $b_2 = 0$  zu setzen. Der Bogen  $\varepsilon$  ist gleich der Zenitdistanz des Poles oder gleich der Poldistanz des Zenits; wenn folglich  $\varphi$  die bekannte Polhöhe bedeutet, so muß  $\varepsilon = 90^\circ - \varphi$  gesetzt werden, während  $a' = 0$  ist. Jene Gleichung nimmt hiernach die nachstehende Gestalt an:

$$\sin 0 = \cos(90^\circ - \varphi) \sin \delta + \sin(90^\circ - \varphi) \cos \delta \cos \frac{s_1}{2},$$

$$\cos \frac{s_1}{2} = -\tan \delta \tan \varphi.$$

Damit ist auch die Zeit bekannt, während welcher der Stern oberhalb des Horizontes verweilt; bei der Sonne also die Tagesdauer. Setzen wir diesen Zeitraum gleich  $\tau^h$ , so besteht die der obigen nachgebildete Proportion:

$$\tau : 24 = s_1 : 360.$$

Daraus folgt

$$\tau = \frac{1}{15} s_1^h \text{ und } s_1 = 15 \tau^\circ.$$

Der Umstand, daß die oberen Schichten der Atmosphäre Licht zurückwerfen, bewirkt, daß es schon einige Zeit hell ist, ehe die Sonne wirklich aufging, und daß es auch nach deren Untergange noch länger hell bleibt. Die physikalische



Theorie der hiermit gekennzeichneten Dämmerung kann uns hier nicht beschäftigen; in der astronomischen Geographie hält man an der alten Regel fest, daß die bürgerliche und astronomische Dämmerung dann ihren Anfang resp. ihr Ende erreichen, wenn der Sonnenmittelpunkt bei  $-6\frac{1}{2}^{\circ}$  und bei  $-18^{\circ}$  steht. Die Dämmerungsdauer ist danach leicht zu berechnen; sie ist am kürzesten im Bereiche der später zu erörternden Sphaera recta und nimmt von da nach Norden und Süden zu.

---

## V. Zeit und Zeitbestimmung.

Von allem Anfange an hatten wir, durch die scheinbare Umdrehung der Himmelskugel hierzu veranlaßt, auch die Zeitmaße in Betracht zu ziehen; nunmehr liegt es uns ob, denselben eine genauere Untersuchung zu widmen. Wir halten uns an einen dazu besonders geeigneten Himmelskörper, müssen jedoch darauf Rücksicht nehmen, ob derselbe völlig stabil am Himmel steht, oder ob er eine eigene Bewegung besitzt. Ersteres trifft zu für die Fixsterne, letzteres für die Sonne. Wir müssen dreierlei Arten der Zeitmessung unterscheiden, nämlich die Sternzeit und — weil die Sonnenbewegung der Gleichförmigkeit entbehrt sowohl eine wahre wie auch eine mittlere Sonnenzeit.

Die Sternzeit ist gleich dem Stundenwinkel irgend eines festen Punktes der Himmelskugel, etwa des aufsteigenden Knotens. Ebenso ist die wahre Sonnenzeit identisch mit dem Stundenwinkel des Sonnenmittelpunktes. Man rechnet jedoch im wissenschaftlichen, wie auch im praktischen Leben nicht mit der wahren Sonnenzeit, weil der Sonnenbewegung der Nachteil anhaftet, daß sie keine gleichförmige ist. Denn die Ekliptik steht u. a.,

da sie ja ein vom Äquator abweichender größter Kreis ist, nicht senkrecht auf dem Meridiane, und es passieren demgemäß nicht auch gleiche Bogen der Ekliptik in gleichen Zeiten den Mittagskreis. Will man also doch, was offenbar am bequemsten ist, die Sonne zum Regulator der Zeitrechnung machen, so muß man sich eine ideelle, nur in unserem Vorstellungsvermögen existierende Sonne denken, die ihren Umlauf im Äquator vollzieht und in gleichen Zeiten auch stets gleiche Bogen beschreibt. Damit ist dann sofort der Begriff der mittleren Sonnenzeit, als des Stundenwinkels der sich gleichförmig bewegendes Sonne, gegeben.

Damit haben wir auch dreierlei verschiedene Bestimmungen für den Begriff Tag erhalten. Ein Sterntag ist verflossen, wenn ein fixer Punkt der Himmelskugel nach einer Umdrehung in der nämlichen Lage dem Meridiane gegenüber angelangt ist; gewöhnlich bezeichnet man so die Zeit zwischen zwei konsekutiven Meridiandurchgängen des obigen Punktes. Treten an Stelle dieses Punktes der Mittelpunkt der wirklichen oder der imaginären Sonne, so hat man den als wahrer oder als mittlerer Sonnentag bezeichneten Zeitraum. Aus den Definitionen folgt, daß der wahre Sonnentag eine veränderliche Länge hat, wogegen sowohl der Sterntag als auch der mittlere Sonnentag konstant ist. Doch leuchtet ein, daß der letztere länger als der Sterntag sein muß, weil ja die Sonne sich in einer der täglichen Umdrehung der Himmelskugel entgegengesetzten Richtung fortbewegt. Der mittlere Sonnentag, zur Einheit genommen, zählt  $60 \cdot 60 \cdot 24 = 86\,400$ , der Sterntag nur 86 164 Sekunden.

Die Wahl des Zeitpunktes, von dem aus der Beginn eines Tages gerechnet wird, ist völlig unserer Willkür anheim-

gestellt. Die große Mehrzahl der Europäer ist daran gewöhnt, zweimal von 0<sup>h</sup> bis 12<sup>h</sup> zu zählen, indem die Mittags- und Mitternachtsstunde als Anfangszeiten (Epochen) der Zählung gelten. Anders in Italien, in welchem Lande man eine solche Trennung nicht eintreten läßt, sondern von 12<sup>h</sup> mitternachts 24 Stunden fortzählt; „alle diciasette“ (ore) oder 17 Uhr stimmt also mit 5<sup>h</sup> des Abends überein. Ganz ebenso verfährt auch die astronomische Wissenschaft. Für sie ist der 9. Mai vormittags 8<sup>h</sup> der bürgerlichen Zeitrechnung gleichbedeutend mit dem 8. Mai 20<sup>h</sup>. Ganz anders war die Zeiteinteilung des Altertums und Mittelalters; einzelne Städte, wie z. B. Basel, haben sich derjenigen, die uns jetzt als die allein mögliche erscheint, erst spät im XVII. Jahrhundert anbequemt. Sowohl der Tag als auch die Nacht, durch Auf- und Untergang der Sonne zeitlich normiert, zerfiel nämlich in je 12 Stunden, und da, wie wir wissen, Tages- und Nachtlänge mit den Jahreszeiten wechseln, so hatten die Stunden eine ungleiche Länge. Für Mitteleuropa z. B. war eine Stunde im Hochsommer ziemlich genau doppelt so lang, als eine Stunde im tiefen Winter. Auch ließ man den Tag bei einzelnen Völkern mit Sonnenuntergang seinen Anfang nehmen. Der bürgerliche Tag ist, wie man erkennt, stets durch astronomisch-geographische Verhältnisse bedingt; im einzelnen jedoch hat dieser anscheinend so einfache Begriff, wie dies insbesondere Bilfingers Untersuchungen dargetan haben, mannigfache Wandlungen erlitten.

Die Ungleichheit des mittleren und wahren Sonnentages ist eine natürliche Konsequenz der oben gegebenen Definition. Unter Zeitgleichung versteht man die Differenz: Länge der mittleren Sonnenzeit minus Länge der wahren Sonnenzeit. Die Zeitgleichung  $\gamma$  ist natürlich eine variable Größe, und zwar ist  $\gamma$  viermal im Jahre gleich Null, während ihr größter positiver Wert etwas über 14<sup>m</sup>, ihr größter negativer Wert etwas über 16<sup>m</sup> hinausgeht. Die Null- und Extremzeiten sind aus folgender Zusammenstellung zu ersehen (die lateinischen Zahlzeichen geben die Monate an):



|           |          |           |         |          |
|-----------|----------|-----------|---------|----------|
| 12,II.    | 15,IV.   | 14,V.     | 14,VI.  | 26.VII.  |
| + 14m 31s | 0        | — 3m 53s  | 0       | + 6m 12s |
|           | 31.VIII. | 13,IX.    | 24,XII. |          |
|           | 0        | — 16m 18s | 0       |          |

Der Umstand, daß die Größe  $\gamma$  zu Ende Januar einen größeren positiven Wert annimmt, trägt wesentlich zu der alljährlich zu hörenden Bemerkung bei, man könne sich abends schon sehr gut von der Zunahme des Tages überzeugen, früh morgens aber noch gar nicht. Die später zu besprechende Einführung der Einheitszeit mußte für viele Orte den Gegensatz zwischen dem, was die Uhr ergibt, und dem, was der Augenschein lehrt, noch erheblich vergrößern.

Zur Messung der Zeit dient die Uhr, und schon in den ältesten geschichtlichen Perioden macht sich das Bedürfnis der Zeitmessung geltend. Alle Kunstuhren sollen mittlere Sonnenzeit liefern; die wahre Sonnenzeit dagegen wird von der Sonnenuhr gezeigt. Die Griechen hatten es in der Vorfertigung der Wasseruhren ziemlich weit gebracht, und auch der Sanduhr eignet ein ehrwürdiges Alter; die letztere kann sogar auf die höhere Genauigkeit Anspruch machen, weil die Reibung des Sandes an der Ausflußstelle es mit sich bringt, daß der ausfließende Stoff nicht, wie es bei einer Flüssigkeit der Fall ist, immer auf gleicher Höhe erhalten werden muß. Das Mittelalter sah — wahrscheinlich im XIV. Jahrhundert — die ersten Räderuhren entstehen, und die ersten Taschenuhren wurden von Peter Henlein in Nürnberg hergestellt. Für den astronomischen Gebrauch wurde die Räderuhr erst von Bernhard Walther gegen Ende des XV. und von Tycho Brahe gegen Ende des XVI. Jahrhunderts zugerichtet, um schon verhältnismäßig bald jene hohe Vollkommenheit zu erreichen, deren der von der Längenbestimmung handelnde Abschnitt zu gedenken haben wird.

Mit dem Fortschritte der Uhrmacherkunst wurde der Gebrauch der Sonnenuhren ein immer eingeschränkterer; immerhin bildete noch vor hundert Jahren die Sonnenuhrkunde oder Gnomonik, die jetzt nur noch selten wissenschaftliche Behand-

lung findet, einen ständigen Abschnitt in den mathematischen Lehrbüchern. In altgriechischer Zeit pflegte man sich an den Schatten eines lotrecht aufgestellten Stabes zu halten; es ist jedoch leicht einzusehen, daß, wenn eine solche Uhr das ganze Jahr hindurch gleichmäßig brauchbar sein soll, der Zeiger (Stylus oder Gnomon) der Weltachse parallel angebracht werden muß. Auf einer beliebigen Fläche können dann — empirisch oder auf Grund vorgängiger mathematischer Betrachtung — die sogenannten Stundenlinien verzeichnet werden, die auf beiden Seiten der in den Meridian fallenden und durch die Zahl XII zu bezeichnenden bezüglich die Zahlen XI, X, IX u. s. w. für den Vormittag und I, II,

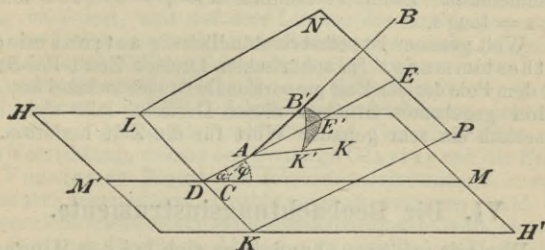


Fig. 9.

III u. s. w. für den Nachmittag führen. Fällt also etwa der Zeigerschatten auf die Stundenlinie V, so hat man 5<sup>h</sup> nachmittags. Man hat in früheren Zeiten Sonnenuhren auf konvexen und konkaven Kugelflächen, auf zylindrischen und konischen Flächen, sowie auf Ebenen in allen nur denkbaren Lagen zu konstruieren gelehrt; praktisch bedeutsam ist indessen nur der einzige Fall einer Ebene, deren Durchschnittslinie mit der des Horizontes auf der Mittagslinie senkrecht steht. HH' (Fig. 9) stellt den Horizont, MM' die Mittagslinie, KLNP die Zeichnungsebene, A den Fußpunkt des Zeigers AB vor, dessen Richtung die Horizontalebene in C trifft. Der Bedingung gemäß ist  $\sphericalangle BCM$  gleich der Polhöhe  $\varphi$ , und wenn der Neigungswinkel  $\sphericalangle MDE$  der beiden Ebenen  $\alpha$  heißt, so ist  $\sphericalangle BAE = \varphi - \alpha$ . Der Winkel, den die Stundenlinie AK mit AE bildet, und der  $x$  heißen möge, wird gesucht. Beschreibt man die zu A als Zentrum gehörige Einheitskugelfläche, welche

die Linien AB, AE und AK in B', E', K' schneidet, so gibt uns das sphärische Dreieck B'E'K' die erforderlichen Daten. In ihm ist Seite B'E' =  $\varphi - \alpha$ ,  $\sphericalangle$  B'E'K' =  $90^\circ$ ,  $\sphericalangle$  E'B'K' =  $s$ , d. h. gleich dem die Zeit darstellenden Stundenwinkel der Sonne; für die Seite x läßt sich dann die Gleichung

$$\text{tang } x = \text{tang } s \sin (\varphi - \alpha)$$

anschreiben. Je nachdem der Winkel  $\alpha$  gleich  $0^\circ$  oder gleich  $90^\circ$  wird, erhält man die Stundenlinien der Horizontal- oder Vertikalsonnenuhr. Die Winkel, welche die einzelnen Stundenwinkel miteinander einschließen, werden dann einander gleich, wenn die Zeichnungsebene mit derjenigen des Äquators zusammenfällt. Dann ist nämlich  $\alpha = \varphi - 90^\circ$  und mithin  $\text{tang } x = \text{tang } s$ .

Weit genauer ist selbstverständlich die astronomische Zeitbestimmung. Im sphärischen Dreieck Zenit-Pol-Stern liegt dem Pole der der Zeit proportionale Stundenwinkel an; aus re drei gegebenen Stücken dieses Dreiecks läßt sich also jechnerisch ein sehr genauer Wert für die Zeit herleiten.

## VI. Die Beobachtungsinstrumente.

Wie wir erfahren, handelt es sich bei der Himmelsbeobachtung wesentlich darum, sphärische Distanzen zu messen, und das kann auf direkte, wie auch auf indirekte Weise geschehen. Im ersteren Falle wird ein künstlich hergestellter Kreis oder Kreisteil, dessen Peripherie oder Limbus mit der bekannten Bogeneinteilung versehen ist, so aufgestellt, daß in die durch ihn und durch das in den Mittelpunkt versetzte Auge des Beobachters bestimmte Ebene auch der Kreisbogen AB der Himmelskugel fällt, dessen Länge es zu messen gilt. Um den Mittelpunkt dreht sich ein beweglicher Radius, Alhidade genannt, auf dem sich zwei Durchsichten oder — seit der von Hooke und Auzout in der zweiten Hälfte des XVII. Jahrhunderts durchgeführten Reform — ein Fernrohr angebracht befinden. Der Beobachter visiert zuerst



nach A und merkt an, bei welchem Striche des Limbus sich jetzt die Mittellinie der Alhidade befindet, und dreht dann letztere, bis sein Visierstrahl auch den Punkt B trifft. Alsdann hat er nur noch den augenblicklichen Stand der Alhidade abzulesen, um den Bogen AB seiner Größe nach zu erhalten.

Dieses einfache und natürliche Prinzip liegt ebensogut den primitiven Instrumenten der frühesten Vergangenheit, wie auch der so überaus entwickelten und verfeinerten Beobachtungskunst der Gegenwart zugrunde. Nur hat sich die Art der Ablesung verändert, weil auf dem Limbus der Kreisinstrumente, wenn der Halbmesser nicht eine allzu ungeheuerliche Länge erhalten sollte, die Teilung nicht allzu weit getrieben werden kann. Die Auskunftsmittel, welche Nunes (latinisiert Nonius) und Tycho Brahe im XVI. Jahrhundert vorschlugen, erwiesen sich nicht als genügend; wohl aber tat dies eine höchst einfache Vorrichtung, welche der Deutsche Clavius und der Franzose Vernier zu Beginn des folgenden Jahrhunderts in vollkommener gegenseitiger Unabhängigkeit ersannen, und die seitdem nicht leicht einem Winkelmeßinstrumente fehlt, ebenso wohl aber auch für feinere Ablesung an geradlinigen Maßstäben gebraucht werden kann. Wenn man dieselbe in der wissenschaftlichen Sprache ganz allgemein als Nonius bezeichnet, so macht man sich damit, wie aus dem Gesagten hervorgeht, einer geschichtlichen Ungerechtigkeit schuldig.

Man denke sich zwei konzentrische Kreisbogen von gleicher Winkelgröße unmittelbar aneinander gelegt; der eine sei in  $n$ , der andere in  $(n \pm 1)$  Teile geteilt, und zwar sei der Anfangspunkt der Teilung beide Male der gleiche. Dann fallen die nächsten Teilstriche offenbar nicht mehr zusammen, und erst später einmal findet wieder eine solche Koinzidenz statt. Setzen wir die Bogenlänge gleich  $\lambda$ , so weichen die beiden ersten Teilstriche um den Wert  $(\lambda : n - \lambda : [n \pm 1])$  ab, und für die folgenden wächst diese Differenz gleichmäßig. Die Entfernung des  $p$ ten Teilstriches auf dem einen und anderen Limbus ist sonach

$$p \left( \frac{\lambda}{n} - \frac{\lambda}{n \pm 1} \right) = \pm \frac{p\lambda}{n(n \pm 1)}.$$

Je nachdem der Hilfsbogen in  $(n + 1)$  1 oder in  $(n - 1)$  gleiche Teile geteilt ist, spricht man von einem vortragenden oder schleppenden Nonius.

Damit ist die Art der Ablesung ebenfalls erläutert. Man stellt die Alhidade auf den Punkt A ein, klemmt sie mittels einer Schraube fest und liest nun ab, welches die Stellung ist, die der Nullpunkt des Nonius als Index einnimmt. Deckt er sich genau mit einem Teilstriche, so ist diese Zahl a anzumerken; gewöhnlich wird dies aber nicht der Fall sein, sondern um diese Zahl zu erhalten, muß man abzählen, an welcher Stelle das erste Zusammentreffen je eines Teilstriches von Hauptleitung und Nonius stattfindet, und kraft der angegebenen Formel findet man a. Ebenso bestimmt man die dem gegen B gerichteten Visierstrahle entsprechende Indexstellung b, und alsdann ist  $\text{arc } AB = b - a$ . Da die Striche gewöhnlich sehr nahe beieinander stehen, so dient eine Lupe dazu, die Indexablesung zu erleichtern. Das Ablesemikroskop ersetzt vielfach bei den modernen Instrumenten den immer etwas mühsam zu handhabenden Nonius.

Was nun die besonderen Apparate anlangt, welche in verschiedenen Zeiten zur direkten Bogenmessung am Himmel dienten, so ist uns näher die aus Metallreifen zusammengesetzte Armillarsphäre der Griechen bekannt, welche es gestattete, einen beweglichen Reifen in die gesuchte Ebene zu bringen und an dessen Umfange die Messung vorzunehmen. Später fand man es bequemer, bloß

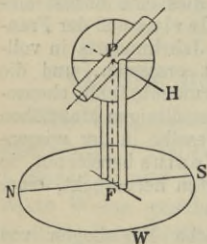


Fig. 10.

mit zwei Kreisen, deren einer horizontal blieb, während der andere in jede beliebige Vertikalebene gebracht werden konnte, zu operieren; es sollten also die Koordinaten des Horizontsystemes, Azimut und Höhe, gefunden werden, sowie dies aus Fig. 10 zu ersehen ist. N W S ist der Horizontalkreis, und das Gestell, welches in F auf jener Scheibe errichtet ist, trägt den Vertikalkreis, dessen Achse H selbst horizontal ist, während das um den Punkt P drehbare Sechrohr unter jeder beliebigen Neigung gegen den Horizont eingestellt werden kann. Das Gestell samt Sechrohr und Vertikalscheibe ist um die Achse FP zu drehen, und damit ist die direkte Ablesung der genannten

beiden Bogen ermöglicht. Die Dioptra des Alexandriner Heron beruhte bereits auf dieser Kombination zweier Kreise, und im Mittelalter dienten verschiedene Modifikationen des Instrumentes dem gleichen Zwecke. Als Universalinstrument kannten es die Astronomen und Geodäten des XVI. Jahrhunderts, und als an die Stelle der Visierlöcher das Fernrohr getreten war, kam auch der — etymologisch unsichere — Name Theodolit auf; dieser gehört noch jetzt zu den wichtigsten Requisites eines wissenschaftlichen Reisenden.

Stabile Sternwarten erkannten es als ihre oberste Pflicht, die Kulminationshöhen der Gestirne mit möglichster Exaktheit

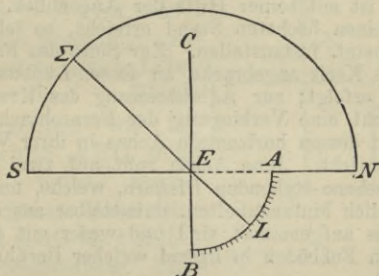


Fig. 11.

zu ermitteln, und darum kam seit dem XVI. Jahrhundert der Mauerquadrant mehr und mehr in Aufnahme. Tycho Brahe ließ, um Tag für Tag die Höhe, in welcher die Sonne durch den Meridian ging, messen zu können, einen Quadranten AB (Fig. 11) in eine Mauer höhlen, welche auf einer im ersten Vertikale angelegten Mauer BC senkrecht stand. Letztere hatte bei E, dem Kreiszentrum von AB, ein Loch, und wenn nun die den Meridian SN der Himmelskugel passierende Sonne Σ genau in diesem Kreise stand, so fiel ein Strahl von ihr durch die Öffnung E, um auf AB einen hellen Lichtpunkt L zu erzeugen. Da  $\text{arc } AL = 90^\circ - \text{arc } BL = \text{arc } S\Sigma$  ist, so konnte der Beobachtende ohne weiteres an der Teilung die Meridianhöhe der Sonne ablesen.



Der Wunsch, für beliebige Gestirne eine derartige Messung bewerkstelligen zu können, führte dazu, eine feste Meridianebene in der Meridianebene aufzuführen und an dieser den aus Messing oder anderen haltbaren Metallen hergestellten Quadranten zu befestigen. Sollten Fixsterne beobachtet werden, deren Zenitdistanz eine sehr kleine war, so ersetzte man den Quadranten durch einen nur wenige Grade spannenden Bogen. Dieses Instrument führte den Namen Zenitsektor.

Das Hauptinstrument einer Sternwarte der Gegenwart ist der Meridiankreis, eine Vervollkommnung des Passageninstrumentes, welches zuerst (um 1670) der Däne Roemer konstruierte. Ein Fernrohr ist in der Meridianebene frei drehbar, und es ist mit seiner Hilfe der Augenblick, in welchem ein Stern seinen höchsten Stand erreicht, so scharf, wie es tunlich erscheint, festzustellen. Zur Seite des Fernrohres ist der vertikale Kreis angebracht, an dessen Limbus die Höhenbestimmung erfolgt; zur Äquilibrirung des Kreises, dessen Schwere leicht eine Verbiegung der Fernrohrachse bewirken könnte, trägt dessen horizontale Achse in ihrer Verlängerung ein Gegengewicht. Jene Achse ruht auf zwei symmetrisch zur Gesichtsebene stehenden Pfeilern, welche, um Erschütterungen gänzlich hintanzuhalten, unmittelbar aus dem Grunde des Gebäudes aufgemauert sind und weder mit den Wänden noch mit den Fußböden in irgend welcher Berührung stehen.

Den Übergang von den Instrumenten mit direkter zu denjenigen mit indirekter Ablesung bilden die Spiegel- und Prismeninstrumente; allerdings wird auch bei ihrer Ablesung ein Winkel direkt abgelesen, aber dieser ist nicht derjenige selbst, den man haben will. Um 1730 erfand der Engländer Hadley diese Methode, für welche zunächst der katoptrische Fundamentalsatz maßgebend war: Die Winkel, die der einfallende Strahl und der zurückgeworfene Strahl mit der Spiegelebene bilden, sind einander gleich. Später lernte man einsehen, daß unter gewissen Umständen Prismen noch tauglicher als Spiegel sind. Die Dioptrik nämlich, die Lehre von der Brechung der Licht-

strahlen, beruht auf folgendem Satze: Tritt ein Lichtstrahl aus einem minder dichten in ein dichteres Mittel ein, so wird er auf das Einfallslot zu gebrochen, und zwar gilt dafür die Gleichung  $\sin \alpha = n \sin \beta$ , in welcher  $\alpha$  und  $\beta$  die vom einfallenden und gebrochenen Strahle mit dem Lote gebildeten Winkel vorstellen, während  $n$  den für die nämlichen zwei Medien konstanten Brechungsindex oder Brechungskoeffizienten bedeutet. Der Weg des Strahles ist umkehrbar. Es kann nun der Fall eintreten, daß  $n \sin \beta > 1$  wird; alsdann ist jede Brechung unmöglich, und es tritt totale Reflexion ein. Einer solchen begegnen wir in Fig. 12, worin ABC den Querschnitt eines senkrechten Prismas darstellt; das Dreieck ABC ist gleichschenkelig-rechtwinklig. Ein die Kathetenfläche AC senkrecht durchdringender

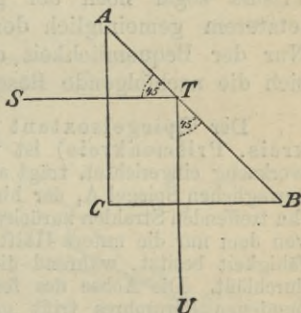


Fig. 12.

Lichtstrahl ST erleidet bei T eine totale Reflexion und tritt also, als reflektierter Strahl TU, derart aus, daß er auch die Kathetenfläche BC senkrecht kreuzt und mit der ursprünglichen Strahlenrichtung einen rechten Winkel einschließt. Es ist nämlich  $\angle ATS = \angle BTU = 45^\circ$ , also  $\angle STU = 180^\circ - 2 \cdot 45^\circ = 90^\circ$ . Von dieser letzteren Eigenschaft wird in der Instrumentenkunde neuerdings ein ausgedehnter Gebrauch gemacht, um den Beobachter des bei großen Höhen lästigen direkten Hineinblickens in das Fernrohr zu überheben. Man bringt nämlich

im Brennpunkte des letzteren ein total reflektierendes Prisma an, welches die einfallenden Strahlen horizontal weiterzugehen zwingt, und da zugleich eine kurze seitliche Röhre mit dem Okularglase angebracht ist, so kann der Beobachter in bequemster Stellung seinen Verrichtungen obliegen. Für uns hier ist der Umstand besonders wichtig, daß die Zurückwerfung der Strahlen sich in den beiden erörterten Fällen ganz gleichartig vollzieht; da aber der Lichtverlust beim spiegelnden Prisma sogar noch der geringere ist, so gibt man letzterem gemeinlich den Vorzug vor dem Spiegel. Nur der Bequemlichkeit des Ausdruckes halber hält sich die nachfolgende Beschreibung an den Spiegel.

Der Spiegelsextant (Spiegeloktant, Spiegelkreis, Prismenkreis) ist wie jedes entsprechende Meßwerkzeug eingerichtet, trägt aber zugleich zwei Spiegel, einen beweglichen Spiegel A, der hinten belegt ist und deshalb alle ihn treffenden Strahlen zurückwirft, und einen festen Spiegel B, von dem nur die untere Hälfte Belag und damit Spiegelungsfähigkeit besitzt, während die obere Hälfte alles Licht frei durchläßt. Die Achse des fest mit der Sextantenebene verbundenen Fernrohres trifft genau mit der Grenzfläche der beiden Spiegelhälften zusammen. Gesetzt nun, es sei die Bogendistanz irgend zweier Punkte C und D — am Himmel oder auf der Erde — zu bestimmen. Man visiert D durch den oberen, freien Teil des Spiegels B an und dreht nun die den Spiegel A tragende Alhidade so lange, bis im unteren Teile von B, hart neben dem direkt gesehenen D, das durch zweimalige Reflexion hierher gelangte Bild von C erscheint. Sobald die Koinzidenz beider Bilder eine möglichst vollkommene geworden ist, wird mittels einer feinen Schraube die Alhidade festgeklemmt und die Stellung des Index am Limbus abgelesen. Der abgelesene Bogen ist halb so groß als die wirkliche Bogendistanz CD.

Daß dem wirklich so, erhellt aus Fig. 13, worin die beiden Spiegel A und B so gezeichnet sind, daß die Trennungslinie der beiden Hälften von A in die Zeichnungsebene fallend



gedacht wird; auf dieser stehen die beiden Spiegelebenen senkrecht. C und D sind die beiden Objekte; ihre Bogen-  
distanz wird durch den Winkel  $CMD = \alpha$  gemessen. Der  
von C kommende Strahl wurde in A zurückgeworfen, erlitt  
in B eine zweite Spiegelung und gelangte so in das Auge M.  
Am Limbus des Spiegelinstrumentes ward abgelesen der  
Winkel beider Spiegelebenen,  $\sphericalangle ANB = \beta$ ; es wird behauptet,  
 $\alpha$  sei  $= 2\beta$ .

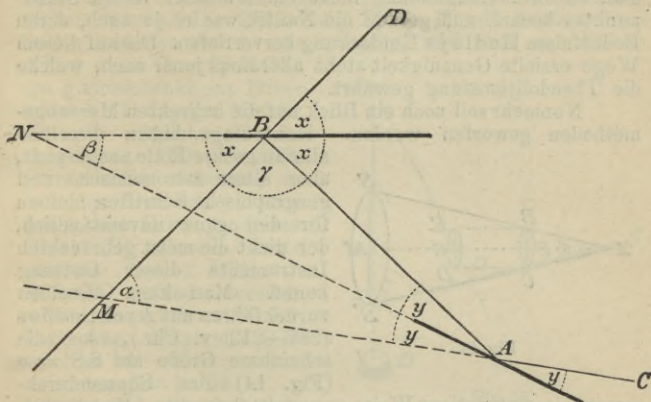


Fig 13.

Wir bezeichnen mit  $x$  und  $y$  die bei der Zurückwerfung  
an den Spiegeln B und A entstehenden Einfalls- und Reflexions-  
winkel, mit  $\gamma$  den  $\sphericalangle ABM$ . Wendet man den Satz von der  
Winkelsumme des Dreiecks auf die beiden Dreiecke ABM  
und ABN an, so erhält man durch nachherige Kombination:

- I.  $\alpha + \gamma + 2y = 180^\circ$ ,
- II.  $\beta + x + \gamma + y = 180^\circ$ ,
- III.  $\alpha + y = \beta + x$ .

Nun ist aber auch  $x$  ein Außenwinkel des Dreiecks  
ABN, folglich

- IV.  $x = \beta + y$ .

Addiert man die beiden Gleichungen III und IV, so hebt sich auf beiden Seiten die Summe  $(x + y)$  fort, und es bleibt übrig

$$V. a = 2\beta,$$

was zu beweisen war.

Um jede Hilfsrechnung zu vermeiden, trägt der Mechaniker auf dem Limbus des Spiegelinstrumentes nicht die richtigen, sondern bereits die mit 2 vervielfachten Zahlen ein. Der große Nutzen aller Spiegelwerkzeuge besteht darin, daß man zu ihrer Handhabung nicht eines absolut festen Standpunktes bedarf, und gerade die Nautik war es ja auch, deren Bedürfnisse Hadleys Entdeckung hervorriefen. Die auf diesem Wege erzielte Genauigkeit steht allerdings jener nach, welche die Theodolitmessung gewährt.

Nunmehr soll noch ein Blick auf die indirekten Messungsmethoden geworfen werden. Heutzutage haben dieselben

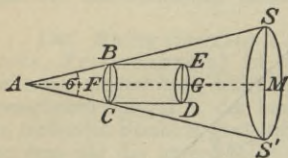


Fig. 14.

allerdings ihre Rolle ausgespielt, aber ältere astronomische und geographische Schriften bleiben für den ganz unverständlich, der nicht die meist gebrauchten Instrumente dieser Gattung kennt. Man kann dieselben zurückführen auf Archimedes (287—212 v. Chr.), der die scheinbare Größe  $\text{arc } SS' = \sigma$  (Fig. 14) des Sonnendurch-

messers in eigenartiger Weise auszumitteln suchte. Er verschob nämlich einen geraden Zylinder BCDE, dessen Achse FG er auf den Mittelpunkt M der Sonnenscheibe einstellte, so lange, bis derselbe für sein in A befindliches Auge die Scheibe SS' gerade

zudeckte. Dann ist offenbar  $\sphericalangle MAS = \sphericalangle MAS' = \frac{\sigma}{2}$ , und

die Größe dieses Winkels läßt sich dem rechtwinkligen Dreiecke ABF entnehmen, von dem die Katheten AF und BF sofort gemessen werden können. Trigonometrisch zu rechnen verstand Archimedes noch nicht, und es blieb ihm also nur übrig, sich durch geometrische Konstruktion einen Näherungswert für  $\sigma$  zu verschaffen.

Unter den griechischen Astronomen bildeten Hipparch, der im zweiten vorchristlichen, und Ptolemäus, der im zweiten nachchristlichen Jahrhundert lebte, die Trigonometrie

weiter aus und gleicherweise auch die hier in Rede stehenden Verfahrungsweisen, als deren Grundzug sich herausstellt, daß die Winkel nicht direkt abgelesen, sondern aus gewissen goniometrischen Funktionen derselben, welche die unmittelbare Beobachtung liefert, erst berechnet werden sollen. Eine Erfindung des Ptolemäus war der Dreistab, das Triquetrum, welches in erster Linie zur Bestimmung von Zenitdistanzen zu dienen hatte.  $AB$  (Fig. 15) war eine lotrechte Säule, um die sich je in  $A$  und im Punkte  $C$  eine Schiene mit Teilung frei drehen konnte. Die Entfernung  $D$  des Durchschnittspunktes beider Schienen von  $A$  war konstant, und zwar war  $AC = AD = a$ ; die Grundlinie  $CD$  des gleichschenkligen Dreiecks  $ACD$  dagegen konnte alle nur möglichen Werte annehmen.  $CD$  war mit Durchsichten versehen, so daß der Beobachter, sein Auge nach  $C$  bringend, das Objekt  $S$ , dessen Zenitdistanz  $\zeta = \sphericalangle ACS = \sphericalangle ACD$  gefunden werden sollte, anzuvisieren in der Lage war. Setzt man  $CD = b$ , so ist

$$\cos \zeta = b : 2a$$

und damit  $\zeta$  selbst bekannt.

Bogendistanzen zu

messen, gestattete das geometrische Quadrat, um dessen Verbesserung sich besonders Peurbach (1423—1461) bemühte. Ein aus Metall gefertigtes Quadrat  $ABCD$  (Fig. 16), um dessen Endpunkt  $A$  die mit Visierlöchern ausgerüstete Alhidade drehbar ist, besitzt zwei in gleichviele Teile — von der Länge  $b$  — geteilte Seiten.  $E$  und  $F$  sollen die beiden Punkte sein, deren Bogendistanz  $\delta (= \sphericalangle EAF)$  ermittelt werden soll. Die Alhidade, deren Achsenverlängerung zuerst mit  $AE$  und nachher mit  $AF$  zusammenfällt, trifft etwa die Seite  $BC$  so in  $G$  und  $H$ , daß  $BG = mb$  und  $BH = nb$  zu setzen ist. Wie man sieht, ist, wenn  $AB = a$  gesetzt wird,

$$\text{tang} (\sphericalangle BAH) = \frac{nb}{a}, \quad \text{tang} (\sphericalangle BAG) = \frac{mb}{a}$$

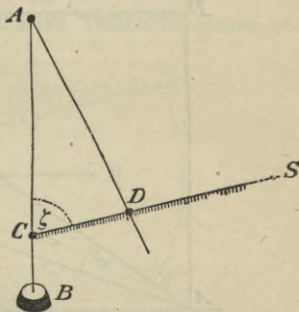


Fig. 15.



und weiterhin

$$\operatorname{tang} \delta = \frac{\frac{nb}{a} - \frac{mb}{a}}{1 + \frac{mnb^2}{a^2}} = \frac{ab(n-m)}{a^2 + mnb^2}.$$

Wären die beiden Punkte so gelegen, daß die eine Visierlinie die Seite BC, die andere aber die Seite CD schneite, so würde nb auf der Seite CD abzumessen sein und an die Stelle der Tangente die Kotangente treten.

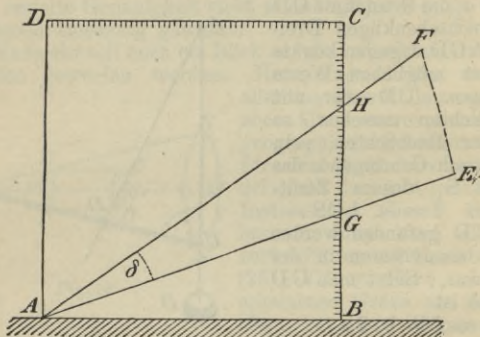


Fig. 16.

Weit einfacher führt zum Ziele ein der Grundidee des Archimedes nachgebildetes Messungsverfahren, welches im Mittelalter, wie man jetzt weiß, stetig angewendet und namentlich von Seeleuten des Erythraïschen Meeres ausgestaltet worden war, ehe es Regiomontanus (1436—1476), dem man irrig die Erfindung zuschreibt, auch im Abendlande bekannter machte. Es ist dies Verfahren in Fig. 17 anschaulich gemacht, welche den sogenannten Jakobstab (Gradstock, Baculus geometricus, Radius astronomicus) in seiner einfachsten Form darstellt. AB ist ein in gleiche Teile geteilter, vierkantiger Stab; die Entfernung zweier Nachbartheilstreife möge wieder = b sein. Auf AB ist, sich selbst stets

parallel, ein kürzerer Querstab CD von der Länge  $2a$  verschiebbar, den der Längsstab halbiert. Soll dann die Bogen­distanz EF gefunden werden, so ergreift der Beobachter mit der einen Hand den Längsstab, bringt sein Auge möglichst nahe an das Ende A und schiebt jetzt den Querstab mit der anderen Hand so lange hin und her, bis er über dem Ende C den Punkt E, über dem Ende D den Punkt F anzuvisieren vermag. In dieser Lage halbiert der Bakulus den Bogen  $EF = \delta$ , und wir haben

$$\operatorname{tang} \frac{\delta}{2} = \frac{a}{bn},$$

wenn der Schieber gerade beim  $n$ ten Teilstriche stehen geblieben ist.

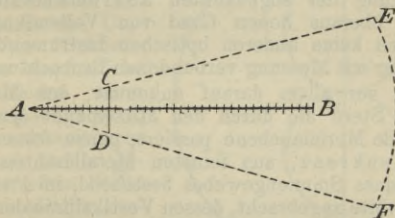


Fig. 17.

Der Jakobstab ist auf vielen Meeren noch bis ins XIX. Jahrhundert herein im Gebrauche geblieben und hat manche Verfeinerung erfahren, so daß die durch ihn gewährleistete Schärfe eine ziemlich große war. Man wußte sogar den Fehler rechnerisch abzuschätzen, der entstehen muß, weil das Auge doch nicht ganz genau dem Endpunkte A des Hauptstabes anliegen kann. Auch vereinfachte man die Ablesung späterhin wesentlich, indem man die Teilstriche nicht mehr gleichabständig machte, sondern dieselben so anordnete, daß man statt der Ordnungszahl des Striches ohne weiteres den Winkelwert auf dem Stabe fand.

Mit Fernrohren sind die zur indirekten Winkelbestimmung dienenden Instrumente höchstens ausnahmsweise versehen gewesen. Daß die Anwendung stark vergrößernder Tuben die

Präzision der Ablesung beträchtlich fördern mußte, liegt auf der Hand. Spiegelfernrohre oder Reflektoren hat man für astronomisch-geographische Zwecke niemals benutzt, sondern lediglich Refraktoren, deren Wesen darin besteht, durch ein System zentrierter Glaslinsen, deren äußerste das Objektiv ist, während dem Auge sich das Okular zukehrt, im Objektiv-Brennpunkte ein sehr scharfes Bild des betrachteten Gegenstandes zu erzeugen, welches vom Auge durch das Okular als Vergrößerungsglas angeschaut wird. Seit in der zweiten Hälfte des XVIII. Jahrhunderts das älteste Glied der Optikerfamilie Dollond die Kunst erfand, durch Kombinierung von Flint- und Kronglaslinsen die störende Farbenzerstreuung so gut wie ganz zu beseitigen, und seit etwas später der bayerische Physiker Fraunhofer in der Herstellung der sogenannten achromatischen Fernrohre einen überaus hohen Grad von Vollendung erreicht hatte, werden keine anderen optischen Instrumente mehr in den Dienst der mit Messung verbundenen Beobachtung gestellt.

Da es vor allem darauf ankommt, den Moment, in welchem ein Stern die durch den Mittelpunkt des Gesichtsfeldes gehende Meridianebene passiert, genau festzuhalten, so ist ein Fadenkreuz, aus feinsten Metalldrähten oder aus den Fäden eines Spinnengewebes bestehend, im Punkte deutlichster Sehweite angebracht, dessen Vertikallinie den Meridian darstellt. Erhöht wird die Präzision noch, wenn statt eines einzigen Vertikalfadens deren eine ganze Anzahl in gleichen Abständen befestigt wird. Auch sonst gibt es noch gar manche andere Vorrichtungen, die dazu gebraucht werden, feinere Messungen des Abstandes zweier gleichzeitig sichtbarer Sterne oder auch zweier Punkte einer Planetenscheibe vorzunehmen. Man faßt diese Mechanismen, die insbesondere feine Schrauben als integrierende Bestandteile enthalten, unter dem Namen Mikrometer zusammen.

Hierher gehört auch ein selbständiges Instrument, welches von Beßel (1784—1846) mit dem größten Erfolge in die beobachtende Astronomie eingeführt wurde, das Heliometer — so genannt, weil man sich seiner zuerst zur Messung des scheinbaren Sonnendurchmessers bediente. Das Objektivglas ist in zwei Halbkreise (Fig. 18) zerschnitten, die für gewöhnlich längs des Durchmessers AB aneinander schließen; eine Mikrometerschraube S gewährt aber die Möglichkeit, die eine



Hälfte so zu bewegen, daß sie an der anderen hingeleitet. Die auf ihre Größe zu prüfende Kreisscheibe wird nun so in das Gesichtsfeld gebracht, daß ihr Durchmesser  $CD$  in die Trennungslinie  $AB$  fällt. Sowie dies erreicht ist, tritt die Schraube  $S$  in Wirksamkeit und verbleibt darin so lange, bis die Scheibe  $CD$  in die beiden Scheiben  $CD$  und  $DE$  zerlegt ist, die sich im Punkte  $D$  gerade berühren. Da man weiß, welcher Winkelwert jeder Umdrehung der Schraube entspricht, so kennt man auch die Anzahl von Einheiten des Bogenmaßes, welche auf  $CD$  entfallen.

Beobachtungen der zuletzt bezeichneten Art würden durch die Umdrehung der Himmelskugel eine empfindliche Störung erleiden, wenn nicht dafür gesorgt wäre, daß ein einmal anvisiertes Objekt auch immer genau an derselben Stelle des Gesichtsfeldes verbleibt. Man erreicht dies durch die parallaktische Aufstellung. Das Fernrohr ist nämlich mit einem Uhrwerk verbunden, welches bewirkt, daß sich ersteres mit der nämlichen Geschwindigkeit, welche der Himmelskugel eigen ist, und zwar im nämlichen Sinne, dreht. Beide Bewegungen stimmen überein, und das Gestirn kann ruhig beobachtet werden, ohne daß ihm, wie dies früher erforderlich war, der Beobachter unaufhörlich mit dem Fernrohr nachzufolgen braucht. Die Drehungsachse ist der Weltachse parallel.

Aus unseren obigen Darlegungen über das Meridianfernrohr ergibt sich auch, daß dem Astronomen eine völlig zuverlässige Uhr ebenso unentbehrlich ist, wie ein gutes Winkelmeßinstrument. Auf einer Sternwarte der Neuzeit

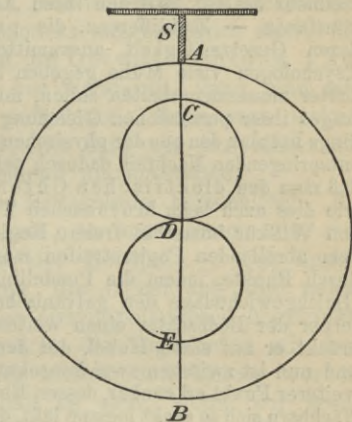


Fig. 18.

gibt es nur Pendeluhren, die man sogar, um den Luftwiderstand auszumerzen, häufig im luftleeren, stets auf gleicher Temperatur erhaltenen Raume schwingen läßt. Das Festhalten des Momentes, in welchem ein Stern gerade durch einen bestimmten Faden geht, hängt teilweise auch von der Subjektivität des Beobachters ab, weil die Fortleitung der Sinnesindrücke in den Nervenbahnen bei verschiedenen Menschen auch verschieden rasch erfolgt. Zwei Personen melden das nämliche objektive Ereignis nicht im gleichen Augenblicke; vielmehr besteht zwischen ihren Angaben eine — wesentlich konstante — Zeitdifferenz, die persönliche Gleichung, deren Gesetzmäßigkeit auszumitteln sich Astronomen und Psychologen viele Mühe gegeben haben. Wenn zwei Beobachter zusammenarbeiten sollen, müssen sie sich erst des Betrages ihrer persönlichen Gleichung versichert haben. Neuerdings hat man den aus der physischen Organisation des Menschen entspringenden Nachteil dadurch sehr erheblich abgeschwächt, daß man den elektrischen Chronographen einführte, der, wie dies auch beim Morseschen Telegraphen geschieht, eine von Willkür immerhin freiere Registrierung ermöglicht. Auf dem abrollenden Papierstreifen markieren sich die Sekunden durch Punkte, indem die Pendellinse bei jedem Passieren der Gleichgewichtslage den galvanischen Strom schließt; sobald ferner der Beobachter einen weiteren Zeitpunkt notieren will, drückt er auf einen Hebel, der den gleichen Zweck erreicht, und nun ist zwischen zwei konsekutiven Sekundenpunkten ein weiterer Punkt erkennbar, dessen Entfernung von seinen beiden Nachbarn sich so exakt messen läßt, daß auch die Zeit, zu welcher der Einstich der vom Hebel bewegten Nadel erfolgte, bis auf kleine Bruchteile einer Sekunde abgeschätzt werden kann.

In neuester Zeit ist auch die Photographie in den Dienst der astronomischen Beobachtung gestellt worden. Wir sprechen jedoch von dieser noch eine große Zukunft versprechenden Neuerung am besten da, wo dieselbe (Abschnitt IX) direkt für graphische Zwecke in Betracht kommt.

## VII. Beobachtungstatsachen, die sich bei Ortsveränderung des Beobachters ergeben.

Es stand bislang fest, daß der Beobachter, dessen Wahrnehmungen uns den Stoff zu unserer bisherigen

Darstellung boten, seinen Platz auf der Erdoberfläche nicht verändere. Ein nicht unbedeutendes Maß von Erfahrungswissen läßt sich, wie gezeigt, auch bei dieser Beschränkung erreichen. Nunmehr freilich müssen wir dieselbe fallen lassen und unserem Beobachter die Berechtigung erteilen, sich frei zu bewegen. Immerhin wird es sich empfehlen, auch bei der Bewegung eine gewisse Norm innezuhalten; wissen wir doch, daß innerhalb der Horizontalebene zwei Linien besonders ausgezeichnet sind, die Nordsüdrichtung und die Ostwestrichtung. Auf diesen Linien hin und her wandernd, kann man alle die Eindrücke in sich aufnehmen, deren man bedarf, um das naive Weltbild, mit dem wir uns bisher begnügen mußten, entscheidend umzugestalten.

Schlagen wir, die Mittagslinie beibehaltend, die Richtung nach Norden ein, so konstatieren wir, daß der Pol — in Europa der Nordpol — sich immer höher erhebt, daß Sterne, die früher auf- und untergingen, in die Klasse der Zirkumpolarsterne übertreten, und daß die Winkel, welche die Tageskreise mit dem Horizonte bilden, immer kleiner und kleiner werden. Gerade umgekehrt verhält es sich, wenn wir stetig die Richtung gegen Süden nehmen. Der Pol sinkt gegen den Horizont hinab; die Zahl der zirkumpolaren Sterne wird immer kleiner, und die Zahl derer, die auf- und untergehen, wird immer größer; die Winkel zwischen Horizont- und Tageskreisen werden immer steiler. Es muß einmal so weit kommen, daß diese Winkel sämtlich einem rechten gleich werden. Hat man den Ort, an welchem dieses zutrifft, erreicht und schreitet nun gleichmäßig nach Süden weiter, so werden die Winkel, die der Horizont mit den Tageskreisen einschließt, wieder schief, aber die Öffnung des spitzen



Winkels ist jetzt nicht mehr nach Süden, sondern nach Norden gekehrt. Auch bemerkt man, daß Sterne, die man vorher sah, und die allerdings einen immer tieferen Stand einnahmen, je weiter man fortschritt, gänzlich verschwunden, unter den Horizont hinabgetaucht sind, und daß dafür im Süden andere sichtbar werden, die teilweise auf- und untergehen, teilweise aber als Zirkumpolarsterne dem Südpole des Himmels zugeordnet sind. Würde unser Wanderer nunmehr seine Bewegungsrichtung um  $180^{\circ}$  verändern und auf demselben Wege zu seinem ursprünglichen Standorte zurückkehren, so würden ihm alle die Tatsachen, die sich ihm in fortlaufend-lückenloser Reihe vor Augen stellten, ebenso in umgekehrter Folge entgegentreten.

Um die Erfahrungen prägnanter fassen zu können, schaffen wir uns eine ihnen angepaßte Terminologie. Für gewöhnlich erscheint uns der Himmel als Sphaera obliqua; die Tageskreise verlaufen unter schiefen Winkeln gegen den Gesichtskreis, und die natürliche Folge davon ist die uns von früher her geläufige Dreiteilung aller Gestirne: nördliche Zirkumpolarsterne, auf- und untergehende Sterne, südliche Zirkumpolarsterne. Jedweder speziellen Sphaera obliqua mit nördlicher Winkelöffnung entspricht eine symmetrisch zugeordnete Sphaera obliqua mit südlicher Winkelöffnung. Einzig sich selbst zugeordnet erscheint die Sphaera recta, deren Kennzeichen es ist, daß alle Tageskreise ohne Ausnahme vom Horizontalkreise normal halbiert werden. Als Grenzfälle der Sphaera obliqua endlich haben wir uns sowohl im Norden wie auch im Süden je eine Sphaera parallela zu denken; sämtliche Tageskreise sind hier dem Horizonte parallel. Allerdings hat noch kein

Sterblicher eine Sphaera parallela selbst gesehen, denn die höchste Polhöhe, bis zu welcher in neuester Zeit Polarforscher — der Norweger Nansen und der Italiener Cagni — gelangt sind, beläuft sich auf etwas mehr als  $86^{\circ}$ , nicht aber auf  $90^{\circ}$ . Gleichwohl sind die Neigungswinkel der Tageskreise bereits bei solcher Polhöhe so gering, daß man sich leicht eine Vorstellung

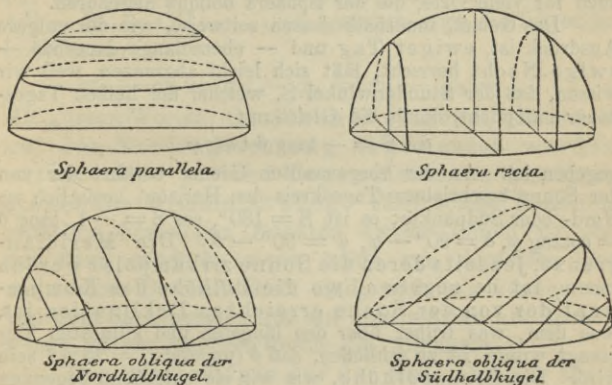


Fig. 19.

davon machen kann, wie die Verhältnisse sich bei der Neigung Null schließlich gestalten müssen. Fig. 19 stellt die drei Sphären vor Augen.

Die vorerwähnte Teilung aller Gestirne in drei Kategorien hat einzig und allein für die Sphaera obliqua Geltung, verliert diese jedoch für den Übergangsfall der Sphaera recta, welche Zirkumpolarsterne nicht kennt, und für die beiden Grenzfälle der Sphaera parallela, für welche es keine anderen als Zirkumpolarsterne gibt. Die Sphaera recta ist dadurch ausgezeichnet, daß jeder Sichtbarkeits- und Unsichtbarkeitsbogen ein voller Halbkreis ist, so daß also weiter auch

jeder Stern, der nicht eigene Bewegung besitzt, genau ebensolange sichtbar bleiben muß, wie er unsichtbar ist. Jeder Tag hat hier eine Länge von zwölf Stunden, während im Bereiche der Sphaera obliqua diese Tagesdauer nur zweimal im Jahre, nämlich an den Äquinoktialtagen, erreicht wird. Den Gegensatz bietet die Sphaera parallela. Hier dauert der Tag ebensolange wie die Nacht, aber auf jeden von beiden Zeiträumen trifft ein volles Halbjahr. Die Sonne wird jedoch nicht bloß für die Sphaera parallela zirkumpolar, sondern auch für viele Orte, die der Sphaera obliqua angehören.

Das Gebiet, innerhalb dessen zeitweise, wie der vulgäre Ausdruck ist, ewiger Tag und — ebensolange dauernde — ewige Nacht herrscht, läßt sich leicht abgrenzen, weil wir wissen, daß der Stundenwinkel  $S$ , welcher der halben Tagesdauer entspricht, durch die Gleichung

$$\cos S = -\tan \delta \tan \varphi$$

gegeben ist. An der vorgenannten Grenze berührt der von der Sonne beschriebene Tageskreis den Horizont bezüglich im Nord- oder Südpunkte; es ist  $S = 180^\circ$ ,  $\cos S = -1$ ,  $\tan \delta = \cot \tan \varphi$ ,  $\delta = 90^\circ - \varphi$ ,  $\varphi = 90^\circ - \delta$ . Die Meridiangrenze, jenseits deren die Sonne zirkumpolar werden kann, ist da gegeben, wo die Polhöhe das Komplement der von der Sonne erreichten Deklination ist. Aus dem, was früher über den längsten und kürzesten Tag gesagt wurde, ist zu schließen, daß  $\delta$  (ungefähr)  $= 23\frac{1}{2}^\circ$  sein wird. Die Grenzpolhöhe, wie wir sie zutreffend benennen könnten, wird sonach bei  $66\frac{1}{2}^\circ$  (ungefähr) erreicht. Von selbst versteht sich, daß die Zirkumpolarität des Tagesgestirnes um so länger dauern wird, je weiter man sich vom Orte der Grenzpolhöhe aus nach Norden oder Süden entfernt.

Unser Reisender verblieb der Bestimmung gemäß unausgesetzt auf der Mittagslinie, auf welcher er sich von Anfang an befand, so daß seine Ermittlungen zunächst nur für eine einzige unter den unendlich vielen Nord-südrichtungen, die es gibt, Gültigkeit besitzen. Allein die einfachste Erfahrung lehrt, daß der Charakter der Beobachtungen völlig der gleiche bleibt, wo sich auch die Mittagslinie befinden mag, auf welcher



sich die Wanderung nach Norden und nach Süden vollzieht. Es bleibt nun noch übrig, auch das quantitative Element zu seinem Rechte kommen zu lassen. Zu dem Behufe fassen wir den sichtbaren Pol ins Auge und messen an einer Anzahl von Punkten unserer Geraden, die gleiche Entfernung voneinander haben, die Polhöhe  $\varphi$ . Es seien A, B, C, D . . . diese Punkte;  $\varphi_a, \varphi_b, \varphi_c, \varphi_d$  . . . die zugehörigen Polhöhen. Falls  $AB = BC = CD = \dots$  ist, bestehen auch die folgenden Relationen:

$$\varphi_a - \varphi_b = \varphi_b - \varphi_c = \varphi_c - \varphi_d = \dots$$

Mit kurzen Worten: Gleichen Distanzen, die linear auf der Nordsüdrichtung abgemessen werden, entsprechen gleiche Bogendistanzen am Meridiane der Himmelskugel. Eine solche Beziehung zwischen homologen Punkten zweier Linien ist aber nur dann möglich, wenn beide von derselben geometrischen Beschaffenheit sind, und wir können uns von dem Sachverhalte nur auf eine einzige Art Rechenschaft geben, nämlich durch die Annahme:

Die Mittagslinie auf der Erde und der Meridian am Himmel sind konzentrische Kreise.

In der Tat mußte sich unserem Wanderer schon zuvor die Überzeugung aufdrängen, daß die Mittagslinie unmöglich eine Gerade sein könne. Neue Objekte der Erdoberfläche erhoben sich, wenn er nach Norden schritt, unaufhörlich über seinem Gesichtskreise, während andere, die zuvor im Süden sichtbar gewesen waren, verschwanden. Solches könnte aber offenbar nicht geschehen, wenn die Erdoberfläche, von lokalen Unebenheiten abgesehen, keine Krümmung besäße. Man würde in diesem Falle einen entfernten Gegenstand so lange im Auge behalten, bis der durch ihn bestimmte Gesichtswinkel unter die Größe des deutlichen Sehens herabgegangen wäre.

So viel steht also jetzt fest, daß die Erdoberfläche in der Richtung Süd-Nord stetig und gleichmäßig

gekrümmt ist. Bis jetzt steht nichts im Wege, die Erde mit einem Kreiszyylinder zu identifizieren, dessen Achse gegenüber dem Halbmesser der Himmelskugel sehr klein ist. Allein da wir die Tatsachen, welche sich aus einer Bewegung in einer auf der vorigen senkrechten Richtung ergeben, noch nicht kennen, so wäre es voreilig, auf dem einstweilen erreichten Standpunkte schon einen Schluß auf die wahren Krümmungsverhältnisse der Erde ziehen zu wollen.

Wir gehen vielmehr einen Schritt weiter und legen unserem Beobachter die Pflicht ob, senkrecht zur Mittagslinie gegen Osten vorzuschreiten. Hat diese Wanderung auch nur erst kurze Zeit gedauert, so reicht dieselbe doch aus, um erkennen zu lassen, daß sich die Aufgänge aller Gestirne verfrühen und ebenso deren Untergänge. Wir denken uns den Wanderer mit einer genau gehenden Uhr versehen, die ihn in den Stand setzt, diese Zeitunterschiede zu messen, und da wird er finden, daß, wenn die Verfrühung bei einem Marsche von  $k$  Kilometern  $t$  Minuten beträgt, sie bei einem Marsche von  $nk$  Kilometern  $nt$  Minuten ausmacht. Genau das Umgekehrte tritt ein, wenn man sich in der Richtung gegen Westen vorwärts bewegt, nur hat man die entgegengesetzte Wahrnehmung zu machen; an die Stelle der Verfrühung ist nun die Verspätung getreten. Halten wir uns endlich den Umstand gegenwärtig, daß die Bewegung der Gestirne, bedingt durch die tägliche Umdrehung der Himmelskugel, eine gleichförmige ist, so daß gleichen Zeiten auch gleiche Wege zugehören, so konzentriert sich die Gesamtheit der Erfahrungen, welche eine Wanderung senkrecht zur Mittagslinie gebracht hat, in nachstehendem Satze:

Auch für jeden der Parallelkreise, deren Ebenen senkrecht zur Meridianebene stehen, entsprechen gleiche Bogen gleichen linearen

Distanzen, die in der Ostwestrichtung abgemessen sind.

Damit ist die Hilfsannahme von oben, daß die Erde vielleicht eine zylindrische Gestalt habe, gefallen. Und es ist nur eine einzige Erklärung möglich, diejenige nämlich, welche der nächste Abschnitt geben soll.

---

### VIII. Die Kugelgestalt der Erde.

Es gibt nur eine einzige Fläche, welcher die Eigenschaft zukommt, in jedem ihrer Punkte gleichmäßig nach zwei normalen Fortschreitungsrichtungen gekrümmt zu sein. Dies ist die Kugelfläche. Was uns der vorige Abschnitt an empirischen Wahrheiten geliefert hat, läßt somit nur eine einzige Deutung zu:

Die Erde ist eine Kugel, welche im Inneren der hohlen, zu ihr konzentrischen Himmelskugel frei schwebt.

Die ionischen Naturphilosophen, welche sich sämtlich in Hypothesen über die Gestalt des Erdkörpers ergingen, waren zu dieser Erkenntnis noch nicht durchgedrungen. Dagegen begegnen wir einer ersten Ahnung des Richtigen bei der pythagoreischen Schule, und wahrscheinlich schrieb schon Pythagoras selbst der Erde die sphärische Gestalt zu, wenngleich ihn wohl nur die geometrische Überlegung leitete, daß die Kugelform die vollkommenste ist, die sich unser Vorstellungsvermögen ausdenken kann. Beweise im eigentlichen Sinne suchte dafür erst Aristoteles (384—322) zu erbringen, und zwar rühren drei derselben von ihm her. Der eine derselben führt, freilich in lapidarer Kürze, eben den Grundgedanken aus, der uns zu dem vorstehenden Resultate verholfen hat;



der zweite macht von einer physikalischen Voraussetzung Gebrauch, der unter gewissen Einschränkungen die Berechtigung nicht abgesprochen werden kann, daß nämlich sich selbst überlassene Stoffteilchen sich zu einer kugelförmigen Masse zusammenballen müssen. Am angreifbarsten ist der dritte Beweisversuch, der sich darauf stützt, daß bei einer partiellen Mondfinsternis auf der Mondkugel sich ein kreisförmiger Schatten abzeichne. Wir werden dieses Argument erst weiter unten würdigen können, wenn wir zu den Finsternissen überhaupt gekommen sein werden.

Auch die meisten Gründe, welche man da und dort für den Fundamentalsatz der astronomischen Geographie angegeben findet, haben meist nur sehr bedingten Wert. Einen exakten hydrostatischen Nachweis für die sphärische Krümmung einer Wasseroberfläche führte, schon bald nach Aristoteles, der große Mathematiker Archimedes. Ganz zuverlässig ist, solange nicht das feste Land in Betracht kommt, auch der Hinweis auf die bekannte Tatsache, daß von einem sich entfernenden Gegenstande zuerst die unteren, dann die mittleren und erst zuletzt die oberen Teile verschwinden, während von einem sich nähernden zuerst diese letzteren zum Vorschein kommen. Eine Fahrt auf offener See gibt reichlich Gelegenheit, Beobachtungen dieser Art anzustellen, aber schon auf größeren Binnenseen verhält es sich nicht anders. Ebenso tritt die Erhabenheit der Oberfläche eines Sees recht klar zutage, wenn man von dem einen Ufer eines solchen auf das andere hinüberblickt, falls dieses nur weit genug entfernt ist. Von einem hart am Strande stehenden Gebäude sieht man nämlich das Erdgeschoß nicht, weil der tiefste Lichtstrahl, eine aus dem Auge an die Wölbung des Wassers gelegte Tangente, das Haus erst weiter oberhalb trifft.

Diejenigen Beweise, welche sich ausschließlich auf die Wasserhülle der Erde beziehen, finden ihre Krönung in einem Versuche, den zwei Gelehrte der Schweiz, Dufour und Forel, erfolgreich an ihrem heimischen Genfer-See angestellt haben. Wäre die Wasserfläche eben, so müßte das Bild, welches ihr Spiegel von einem entfernten Objekte, etwa der Sonnenscheibe, entwirft, diesem selbst kongruent sein; ist diese Fläche dagegen konvex gekrümmt, so wirkt sie ebenso wie jeder Kugelspiegel, und hinter diesem muß ein verzerrt-verkleinertes Bild entstehen.  $SS'$  (Fig. 20) sei ein solcher Konvexspiegel

sphärischer Krümmung,  $C$  sein Mittelpunkt,  $AB$  der abzubildende Gegenstand. Die beiden zur Achse parallel einfallenden Strahlen  $AD$  und  $BE$  werden so zurückgeworfen, daß sie sich, nach der Reflexion verlängert, schneiden müssen; die Zentralstrahlen  $AC$  und  $BC$  gehen in sich selbst zurück.  $AC$  und  $Da$  schneiden sich in  $a$ ,  $BC$  und  $Eb$  in  $b$ ; demzufolge ist  $ab$  das — aufrecht stehende — Bild von  $AB$ , und daß  $AB > ab$  ist, braucht nicht besonders erhärtet zu werden. Dies vorausgesetzt, dürfen wir offenbar die Behauptung aufstellen: Wenn das von einer Wasserfläche gelieferte Spiegelbild

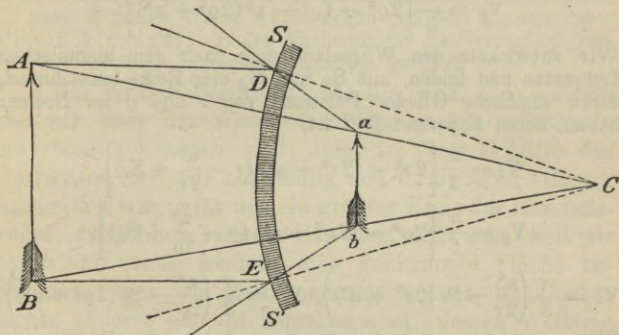


Fig. 20.

kleiner als das Original ist, so wirkt dieselbe als konvexer Spiegel. Den Vordersatz haben die erwähnten Messungen vollauf bewahrheitet. Daß allerdings die Krümmung eine sphärische sein müsse, ist durch diese Beobachtungen noch nicht erwiesen.

Arabische Autoren machten darauf aufmerksam, daß ein dem Erdmittelpunkte näher befindliches Gefäß mehr Flüssigkeit als ein von jenem entfernteres zu fassen vermöge. So paradox dies lautet, so ist es nichtsdestoweniger theoretisch zutreffend, mag auch eine wirkliche Messung der Differenz zu den Unmöglichkeiten gehören. Denken wir uns zwei gleichgroße Gefäße von der Gestalt eines Rotationszylinders und nehmen diese als mit Wasser gefüllt an, so hat das über die

Peripherie des oberen Randes hinausreichende Wasser die Gestalt eines Kugelsegmentes. Die Grundflächen beider Segmente sind einander gleich, Kreise vom Halbmesser  $a$ ; der Radius der Kugel ist bei dem näheren Gefäße  $\varrho$ , bei dem entfernteren  $r$ , so daß  $r > \varrho$  gesetzt werden muß. Bezeichnet man die Volumina der beiden Segmente mit  $V_r$  und  $V_\varrho$ , so erhält man, eine bekannte stereometrische Formel umformend,

$$V_r = \frac{\pi}{3} \left[ 2r^3 - \sqrt{r^2 - a^2} (2r^2 + a^2) \right],$$

$$V_\varrho = \frac{\pi}{3} \left[ 2\varrho^3 - \sqrt{\varrho^2 - a^2} (2\varrho^2 + a^2) \right].$$

Wir entwickeln den Wurzelausdruck nach dem binomischen Lehrsatz und finden, mit  $S_r$  und  $S_\varrho$  eine Reihe bezeichnend, deren sämtliche Glieder Potenzen von  $r$  und  $\varrho$  im Nenner haben, deren Exponent  $\geq 2$  ist,

$$V_r = \frac{\pi}{3} \left[ 2r^3 - (2r^2 + a^2) \left( r - \frac{a^2}{2r} + S_r \right) \right],$$

$$V_\varrho = \frac{\pi}{3} \left[ 2\varrho^3 - (2\varrho^2 + a^2) \left( \varrho - \frac{a^2}{2\varrho} + S_\varrho \right) \right];$$

$$V_r = \frac{\pi}{3} \left( \frac{a^4}{2r} - S_r (2r^2 + a^2) \right), \quad V_\varrho = \frac{\pi}{3} \left( \frac{a^4}{2\varrho} - S_\varrho (2\varrho^2 + a^2) \right).$$

Wie man sieht, würde bei der Ausrechnung der Radius ausschließlich im Nenner vorkommen, und da  $r > \varrho$  ist, so muß  $V_r < V_\varrho$  sein, wie behauptet. Für  $r = \varrho = \infty$  wäre die Aufwölbung ganz verschwunden.

Die gesetzmäßige Krümmung der Hydrosphäre ist nunmehr als Tatsache hinzunehmen. Im Bereiche der Lithosphäre allerdings trüben Erhöhungen und Einsenkungen das Bild einigermaßen; sobald wir jedoch die größten Höhendifferenzen, welche auf der Erde vorkommen, mit dem Halbmesser der Erdkugel vergleichen, erweisen sich die ersteren als so unbedeutend, daß sie die Sphärizität der Erde durchaus nicht zu beeinträchtigen imstande sind. Die tiefste Meeresstelle findet sich im südlichen Großen Ozean und beträgt rund 9000 m; ebenso hoch wollen wir den höchsten Berg annehmen, denn der Gaurisankar oder Mount Everest mißt über 8800 m, und es ist nicht unwahrscheinlich, daß im tibetanischen Himalaja



sich noch höhere Gipfel finden. Die Maximaldifferenz beläuft sich mithin auf 18000 m, und auf den Erdhalbmesser entfallen, wie sich bald zeigen wird, 6370 km; das Verhältniß ist gleich

$$\frac{18000}{6370000} = \frac{18}{6370} = 0,0028.$$

Angesichts dieses Zahlwertes darf man es wohl aussprechen: Das unregelmäßige Modell der Erdoberfläche ändert an der Kugelgestalt nicht das mindeste. So wenig, könnte man hinzusetzen, wie etwa ein Staubkörnchen, das sich auf einem Erdglobus von großen Dimensionen niedergelassen hat. In ganz ähnlicher Weise wurde schon von dem Kommentator Theon Alexandrinus der Nachweis für die Geringfügigkeit der terrestrischen Unregelmäßigkeiten geführt.

Die einzige Schwierigkeit, die sich noch erhebt, ehe wir über das Wesen der Kugelgestalt vollständig ins reine gekommen sind, liegt in dem Begriffe des Horizontes, den wir notwendig neu formulieren müssen. Anfänglich war er für uns ein größter Kreis der Himmelskugel; tatsächlich kann er das aber nicht sein, weil wir nicht eine ebene, sondern eine gekrümmte Fläche bewohnen. Was wir Horizontalkreis nennen, ist offenbar nichts anderes als ein Kugelsegment, dessen Wölbung so flach ist, daß wir derselben nicht gewahr werden. Eine im Standorte des Beobachters an die Erdkugel gelegte Berührungsebene ist es, welche aus der Himmelskugel den Grenzkreis ausschneidet. Da aber auch die ursprüngliche Definition ihre Berechtigung hat, so müssen wir zweierlei Horizonte voneinander scheiden: den wahren Horizont, der durch den Erdmittelpunkt geht, und den scheinbaren Horizont, der, parallel zum wahren Horizonte, die Erdoberfläche berührt. In der großen Mehrzahl der Fälle ist der Erdhalbmesser, verglichen mit den himmlischen Entfernungen, eine so geringfügige Länge, daß die von wahren und scheinbarem Horizonte begrenzte Zone der Himmelskugel

vernachlässigt werden kann, und nur gelegentlich — besonders dann, wenn vom Monde die Rede ist — macht sich der Umstand geltend, daß die beiden Teile, in welche die Sphäre durch den scheinbaren Horizont zerlegt wird, nicht an Größe übereinstimmen.

Nachdem die Erde als Kugel erkannt ist, hat es keine Schwierigkeit, auf sie alle die geometrischen Eigenschaften zu übertragen, welche sich bei der Untersuchung der Himmelskugel ergeben haben. Die Weltachse geht durch den Mittelpunkt der konzentrischen Erdkugel hindurch und trifft diese in den Erdpolen; das den Nord- und Südpol der Erde verbindende Stück der Himmelsachse ist die Erdachse. Die Pole sind ersichtlich die beiden Punkte der Erde, an denen sich die Erscheinungen der Sphaera parallela darstellen. Jeder Himmelsmeridian bestimmt einen mit ihm in der gleichen Ebene liegenden Erdmeridian, und ein gleiches trifft zu für Himmelsäquator und Erdäquator. Auch die Ekliptik kann man solcher-gestalt auf die Erdoberfläche übertragen. Konstruiert man einen Kegel, der seine Spitze im Zentrum der Erde hat, während ein Parallelkreis der Himmelskugel die Basis bildet, so schneidet die Mantelfläche des Kegels aus der Erdkugel einen Parallelkreis der Erde aus. Damit sind die Wendekreise des Krebses und des Steinbockes auch Kreise der Erde geworden. Umgekehrt übertragen wir von der Erde auf die Himmelskugel den nördlichen und südlichen Polarkreis. Diese beiden Kreise haben jeweils von den Polen einen Winkelabstand von  $66\frac{1}{2}^{\circ}$  (ungefähr) und trennen auf der Erde die beiden Kalotten ab, innerhalb deren die Sonne durch kürzere oder längere Zeit zirkumpolar wird. Bewohner des Äquators befinden sich unter der Sphaera recta.

Hiermit sind wir auch zu der Zoneneinteilung gekommen, welche bereits dem Altertum geläufig war und mutmaßlich dem Eleaten Parmenides ihre Entstehung verdankt. Die heiße oder tropische Zone (*κύκλος τροπικός* = Wendekreis) liegt zwischen den beiden Wendekreisen; zwischen je einem Wendekreis und dem zugehörigen Polarkreis liegen die nördliche und südliche gemäßigte Zone; die beiden Kalotten endlich, welche die Polarkreise abtrennen, werden als nördliche und südliche kalte oder polare Zone bezeichnet. Die heiße

Zone und die beiden kalten Zonen wurden jahrhundertlang als unbewohnbar betrachtet, bis die geographische Entdeckertätigkeit diese Irrlehre endgültig beseitigte. Will man die Oberfläche  $Z_h$ ,  $Z_g$  und  $Z_k$  der heißen, einer gemäßigten und einer kalten Zone durch den Erdradius  $r$  und durch die Schiefe  $\varepsilon$  der Ekliptik ausdrücken, welche ja die geographische Lage der Wende- und Polarkreise bedingt, so erhält man:

$$Z_h = 4r^2\pi \sin \varepsilon, Z_g = 4r^2\pi \cos 45^\circ \sin(45^\circ - \varepsilon), Z_k = 4r^2\pi \sin^2 \frac{\varepsilon}{2}.$$

Sind diese Werte richtig, so muß die Gleichung

$$4r^2\pi \sin \varepsilon + 8r^2\pi \cos 45^\circ \sin(45^\circ - \varepsilon) + 8r^2\pi \sin^2 \frac{\varepsilon}{2} = 4r^2\pi$$

identisch für jeden Wert von  $\varepsilon$  bestehen, was sich auch durch einige einfache goniometrische Umformungen dartun läßt.

Von jeher war man darauf bedacht, eine Einteilung der Erdbewohner einerseits nach der Lage ihres Wohnortes, andererseits nach den Schattenverhältnissen vorzunehmen. Die Nomenklatur, welche diesen Zuordnungen entspricht, soll im folgenden kurz geschildert werden.

Stellen wir uns vier Orte  $A_1, A_2, A_3, A_4$  (Fig. 21), welche die Eckpunkte eines Rechteckes bilden. Dieses Rechteck ist einem Meridiane einbeschrieben; die Seiten  $A_1 A_4$  und  $A_2 A_3$  verlaufen parallel der Erdachse  $PP'$ , die Seiten  $A_1 A_2$  und  $A_3 A_4$  parallel dem Äquator  $AA'$ . Dann sagt man, in  $A_2$  wohnen die Nebenwohner oder Periöken von  $A_1$ , in  $A_4$  wohnen die Gegenwohner oder Antöken von  $A_1$ , in  $A_3$  endlich die Gegenfüßler oder Antipoden von  $A_1$ . Nebenwohner — der Begriff ist ersichtlich ein reziproker — haben entgegengesetzte Tages- und gleiche Jahreszeiten; Gegenwohner haben gleiche Tages- und entgegengesetzte Jahreszeiten; für die Gegenfüßler endlich sind Tages- und Jahreszeiten entgegengesetzt. Die Möglichkeit, daß es Antipoden geben könne, wurde im Mittelalter lebhaft bestritten, und der dem achten Jahrhundert angehörige Bischof Virgilius von Salzburg hatte (s. o.) wegen seiner Verteidigung dieses „Irrtums“ schwere An-

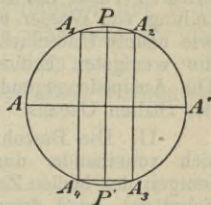


Fig. 21.

I. Wir denken uns vier Orte  $A_1, A_2, A_3, A_4$  (Fig. 21), welche die Eckpunkte eines Rechteckes bilden. Dieses Rechteck ist einem Meridiane einbeschrieben; die Seiten  $A_1 A_4$  und  $A_2 A_3$  verlaufen parallel der Erdachse  $PP'$ , die Seiten  $A_1 A_2$  und  $A_3 A_4$  parallel dem Äquator  $AA'$ . Dann sagt man, in  $A_2$  wohnen die Nebenwohner oder Periöken von  $A_1$ , in  $A_4$  wohnen die Gegenwohner oder Antöken von  $A_1$ , in  $A_3$  endlich die Gegenfüßler oder Antipoden von  $A_1$ . Nebenwohner — der Begriff ist ersichtlich ein reziproker — haben entgegengesetzte Tages- und gleiche Jahreszeiten; Gegenwohner haben gleiche Tages- und entgegengesetzte Jahreszeiten; für die Gegenfüßler endlich sind Tages- und Jahreszeiten entgegengesetzt. Die Möglichkeit, daß es Antipoden geben könne, wurde im Mittelalter lebhaft bestritten, und der dem achten Jahrhundert angehörige Bischof Virgilius von Salzburg hatte (s. o.) wegen seiner Verteidigung dieses „Irrtums“ schwere An-



feindungen zu bestehen. Späterhin beschäftigte man sich vielfach mit der schon im frühen Mittelalter auftauchenden Frage, wie wohl, wenn man einen Schacht bis zu den Gegenfüßlern längs eines Durchmessers der Erdkugel graben könnte, diese Menschen zu uns kommen würden. Kämen sie zuerst mit den Füßen oder aber mit den Köpfen voran auf unserer Seite zum Vorschein? Die Antipodenfrage fand ihre Lösung, als man das Wesen einer kugelförmigen Erde klar erfaßt hatte. Unten ist stets der Erdmittelpunkt, oben stets der Himmel, und es kann mithin der Erdball rundum von Menschen bewohnt sein, deren Füße sich sämtlich dem Erdzentrum zukehren. Es ist bezeichnend, daß z. B. der Kirchenschriftsteller Lactantius, obwohl er die Gründe für das Dasein der Gegenfüßler ganz korrekt wiedergegeben hat, sich gleichwohl mit schalem Spotte darüber hinwegsetzen zu können glaubte, was ihm dann später bitteren Tadel von seiten des Copernicus zuzog. Die Verteilung von Wasser und Land ist übrigens eine derartige, daß, wie neuere Untersuchungen von Peucker gezeigt haben, nur die wenigsten Erdbewohner tatsächlich Gegenfüßler haben. Die Antipodengegend Europas z. B. ist ein inselarmer Teil des Stillen Ozeans.

II. Die Bewohner der dreierlei Erdzonen unterscheiden sich voneinander durch den Schatten ihres Körpers. Diejenigen der heißen Zone sind zweiseitig (*heteroscii*; *σκιά*, Schatten), weil derselbe um die Mittagszeit während eines Teiles des Jahres nach Süden, während eines anderen Teiles nach Norden fällt. Zweimal im Jahre, wenn die Sonne in ihrem Zenit steht, sind sie schattenlos (*ascii*); für die Wendekreise trifft dies nur einmal im Jahre zu, nämlich am längsten Tage der betreffenden Halbkugel. Die Angehörigen der gemäßigten Erdgürtel sind einschattig (*monoscii*); in der nördlichen Zone fällt der Schatten immer nach Norden, in der südlichen immer nach Süden. Was endlich die Bewohner der Polarzonen betrifft, so sind deren Schattenverhältnisse sehr mannigfaltige. Solange die sogenannte ewige Nacht währt, werfen die Menschen gar keinen Schatten, sind also ebenfalls *ascii*; solange die Sonne auf- und untergeht, sind dieselben *monoscii*; während des ewigen Tages hingegen umwandert die Sonne die ganze Himmelskugel, und der menschliche Schatten fällt im Laufe von 24 Stunden mit allen Richtungen der Strichrose zusammen. Während dieser Zeit sind die Polar-

bewohner ringsumschattig (periscii). Wer sich an einem der beiden Pole selber befindet, ist je ein halbes Jahr lang ascius oder periscius.

Die Größe der Erdkugel wird den Gegenstand unseres zehnten Abschnittes bilden. Nehmen wir den Erdhalbmesser  $R$  als bekannt an, so ist auch die Länge eines jeden größten Kreises  $= 2R\pi$  gegeben. Die Oberfläche der Erde ist  $= 4R^2\pi$ , der Kubikinhalt derselben  $= \frac{4}{3}R^3\pi$ . Ehe jedoch an das Problem,  $R$  zu bestimmen, herangetreten wird, empfiehlt es sich, zuzusehen, wie man sich auf der Erde orientieren, auf ihr feste Richtlinien abstecken kann. Obwohl sich später herausstellen wird, daß die Krümmung der Erde keine absolut sphärische ist, so kann man doch für die Zwecke, die wir jetzt im Auge behalten wollen, von der erwähnten Abweichung fast unter allen Umständen absehen.

---

## IX. Ortsbestimmung auf der kugelförmigen Erdoberfläche.

Durch ihre Meridiane und Parallelkreise hatten wir die Himmelskugel in ein Netz sphärischer Trapeze zerteilt, und jeden Ort konnten wir durch seine Koordinaten fixieren. Ganz dasselbe kann offenbar auf der sphärischen Erdoberfläche geschehen. Als X-Achse betrachten wir ein für allemal den Äquator, als Y-Achse einen an sich beliebigen Meridian, der nur die ihm beilegte Eigenschaft dann auch für immer beizubehalten hat. Da, wo beide Kreise sich durchschneiden, befindet

sich der Nullpunkt der Längenzählung. Nunmehr setzen wir folgendes fest:

Geographische Breite eines Ortes ist der Meridianbogen zwischen diesem Orte und dem Äquator.

Geographische Länge eines Ortes ist der Äquatorbogen zwischen dem Nullpunkte der Zählung und demjenigen Punkte, in welchem der Ortsmeridian den Äquator schneidet.

Ein Blick auf den Erdglobus zeigt, daß alle Parallelkreisstücke zwischen denselben zwei Meridianen, so verschieden auch ihre lineare Größe ist, doch die gleiche Winkelgröße besitzen. Deshalb kann man als Länge auch das Stück des Paralleles zwischen dem Orte und der Y-Achse definieren. Wie man sich sofort überzeugt, haben geographische Breite und Länge nichts gemein mit astronomischer Breite und Länge. Vielmehr entspricht die geographische Breite der Deklination, die geographische Länge der Rektaszension oder dem Stundenwinkel, indem beide Male der Äquator als Abszissenkreis gewählt ist.

Man unterscheidet nördliche und südliche Breite; jede von ihnen variiert zwischen  $0^{\circ}$  und  $90^{\circ}$ . Bei Rechnungen wird die nördliche Breite positiv, die südliche negativ angesetzt. Die Längenzählung entbehrt der uns von den Koordinatensystemen der Himmelskugel her erinnerlichen Einheitlichkeit. Man unterscheidet nämlich östliche und westliche Länge und zählt vom Nullpunkte aus in entgegengesetztem Sinne bis zu  $180^{\circ}$ .

Die Wahl eines geeigneten Anfangs- oder Nullmeridians hat Altertum und Mittelalter angelegentlich beschäftigt, ohne daß sich doch ein einheitlicher Zählungsmodus herausgebildet hätte. Ein vom



Kardinal Richelieu berufener Ausschuß gelehrter Männer beschloß um 1630, den Ordinatenkreis durch Ferro, die westlichste der Kanarien, zu legen, und dieser Anordnung hat man sich lange gefügt, obwohl der Meridian von Ferro in Wirklichkeit nur ein verschleierter Meridian von Paris war; man hatte nämlich die Lage Ferros nicht durch selbständige Beobachtung bestimmt, sondern einfach dekretiert, es liege  $20^{\circ}$  westlich von der französischen Hauptstadt. Seit den achtziger Jahren des neunzehnten Jahrhunderts ist eine mächtige Bewegung unter allen Vertretern beteiligter Wissenszweige im Gange, den Meridian der englischen Hauptsternwarte von Greenwich (östlichem Vorort von London) zum Anfangskreise der Zählung zu erheben, und heutzutage liegt derselbe in der Tat schon den Seekarten und Atlanten der allermeisten Kulturvölker zu grunde. Nur die Franzosen halten zäh an dem Meridiane von Paris fest.

Für die geographische Länge trifft zu, was früher als für Rektaszension und Stundenwinkel gültig erkannt worden war; dieselbe kann entweder in Bogenmaß oder in Zeitmaß ausgedrückt werden. So sind  $15^{\circ}$  äquivalent  $1^h$ ,  $108^{\circ} 23'$  äquivalent  $7^h 13^m 32^s$ . Gleiche Ortszeit haben alle Punkte der nämlichen Meridianhälfte; zwei Orte, die jeweils der einen und der anderen Meridianhälfte angehören, weichen in ihrer Zeitrechnung um zwölf Stunden ab. Liegen drei Orte A (Länge  $\lambda_1$ ), B (Länge  $\lambda_2$ ), C (Länge  $\lambda_3$ ) so, daß  $\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$  ist, während zugleich alle drei der Osthalbkugel angehören, so geht nach Ortszeit die Uhr in B gegenüber der Uhr in A vor, gegenüber der Uhr in C nach. Eine Einheitszeit für einen größeren Landkomplex muß also die Vergewaltigung der Ortszeiten nach sich ziehen; trotzdem kann die Einführung einer solchen aus administrativen und — wie Moltke eingehend erläuterte — aus strategischen Gründen zur unabweisbaren Notwendigkeit werden. Am einfachsten wäre es, das Kugelzweieck zwischen den beiden Meridianen, denen die Längen  $30n^{\circ}$  und  $30(n+1)^{\circ}$ ,

wo  $n$  zwischen 0 und 11 schwankt, zukommen, als ein Ganzes aufzufassen. So bezieht sich die mitteleuropäische Einheitszeit, welche das Deutsche Reich, Österreich-Ungarn und die Schweiz adoptiert haben, etwa auf das Segment — die Bezeichnung Stundenzone ist geometrisch schlecht gewählt — zwischen  $6^{\circ}$  und  $26^{\circ}$ ; der Mittelmeridian von  $15^{\circ}$ , für dessen ganzen Verlauf Einheits- und Ortszeit übereinstimmen, geht ungefähr durch die Städte Stargard in Pommern und Reichenberg in Böhmen. An der ostpreußisch-russischen Grenze geht die Lokalzeit beinahe um  $32^m$  gegen die Normalzeit vor; in Metz und Cleve gehen die örtlichen Uhren um  $36^m$  gegen die Normalzeit nach. Das bringt natürlich manche Nachteile mit sich, wie denn z. B. im Westen während des Januar und Februar die ungünstige Einwirkung der Zeitgleichung auf die Verlängerung der Nacht am Morgen dadurch noch erhöht wird; allein schon der Nutzen einer gleichbleibenden Einheitszeit wiegt für ein größeres Land alle etwaigen Übelstände auf.

Aus unseren Darlegungen über das Wesen der Länge folgt: Wer sich um  $15n^{\circ}$  östlich oder westlich von seinem Aufenthaltsorte entfernt hat, muß seine Uhr, die zuerst Ortszeit angab, um  $n^h$  vor- oder zurückstellen. Für  $n = 12$  hat der Reisende sonach einen halben Tag verloren oder gewonnen; für  $n = 24$  beträgt Gewinn oder Verlust einen ganzen Tag. Wenn endlich zwei Wanderer, die mit gleicher Geschwindigkeit sich um die Erdkugel herum bewegen, an ihrem Ausgangspunkte wieder zusammentreffen, so differieren sie in ihrer Zeitrechnung um zwei volle Tage. Pigafetta, der Begleiter der ersten Weltumsegelung, welche Magalhães 1520 unternahm, aber nicht zu Ende führen konnte, schildert uns drastisch die Verwirrung, welche sich der Mannschaft des einzig zurückgekehrten Schiffes bemächtigte, als sie konstatieren mußte, daß das bei ihrer Ankunft in Spanien geschriebene Datum um einen Tag dem aus dem Schiffsjournale folgenden voraus war. Man war stets westlich gesegelt und mußte folglich einen Tag verlieren.

Diese Unzukömmlichkeit würde auch heute noch bestehen, wenn sich die seefahrenden Nationen nicht über ein einfaches Mittel, ihr abzuhelpen, geeinigt hätten. Man stipulierte nämlich die in den Pazifischen Ozean fallende Hälfte des Greenwich-Meridians als nautische Datumsgrenze. Ein von Osten

nach Westen fahrendes Schiff läßt den Tag, an welchem es die Länge von  $180^{\circ}$  passiert, völlig aus, so daß das Tagebuch etwa vom 15. Mai gleich auf den 17. Mai überspringt; hält umgekehrt das Schiff einen östlichen Kurs, so wird der Tag des Überschreitens der Datumsgrenze doppelt gezählt, so daß auf den 15. Mai nochmals der 15. Mai folgt. Diese Linie beherrscht den ganzen Pazifik, einzig die Tschuktschen-Halbinsel an der Beringstraße ausgenommen, wo man begreiflicherweise an der für ganz Sibirien maßgebenden Zeitzählung teilnimmt. Von der tatsächlichen war bis zum Jahre 1844 sehr verschieden die historische Datumsgrenze, welche die Geschichte der Kolonisation des Hinterindischen Archipels treu widerspiegelt. Die Philippinen waren von Osten, von Mexiko her besiedelt worden und hatten damit auch die dortige Zeitrechnung erhalten; in den niederländischen Besitzungen dagegen galt die Zeit Europas, weil von dorthier die Herren dieser Inseln gekommen waren. Die Sunda-Inseln liegen westlich von Luzon, und ihre Uhr hätte demnach gegen die der spanischen Insel nachgehen müssen; tatsächlich aber waren sie einen vollen Tag voraus. Überhaupt war die geschichtliche Datumsgrenze eine sehr unregelmäßige krumme Linie und blieb dies bis zum genannten Jahre. Da entschlossen sich die Behörden von Manila, auf den 30. Dezember 1844 sofort den 1. Januar 1845 folgen zu lassen, und seitdem gab es wenigstens für Ostasien, soweit es unter europäischem Einflusse stand, eine einheitliche Chronologie.

Die Begriffe der geographischen Breite und Länge sind nun hinlänglich geklärt, um uns der Frage, wie man diese Koordinaten wirklich bestimmt, zuwenden zu können. Nur sei noch zuvor kurz die Aufgabe erledigt, die kürzeste Entfernung d. zweier Erdorte zu finden, welche durch ihre Breiten und Längen ( $\beta_1, \lambda_1$ ;  $\beta_2, \lambda_2$ ) gegeben sind. Denkt man sich beide Punkte mit dem nächsten Pole durch Hauptkreisbogen verbunden, so hat man ein Kugeldreieck vor sich, in welchem die Seiten  $(90^{\circ} - \beta_1)$  und  $(90^{\circ} - \beta_2)$  und der von ihnen eingeschlossene Winkel  $\pm (\lambda_1 - \lambda_2)$  gegeben sind. Wir bezeichnen die dritte Seite, welche der Linear-



distanz  $d$  entspricht, durch  $\Delta$  und erhalten diese Größe vermittelt der Gleichung

$$\cos \Delta = \sin \beta_1 \sin \beta_2 + \cos \beta_1 \cos \beta_2 \cos (\lambda_1 - \lambda_2).$$

Zum Schlusse wird  $d$  aus der Proportion

$$d : 2R\pi = \Delta : 360^\circ$$

abgeleitet.

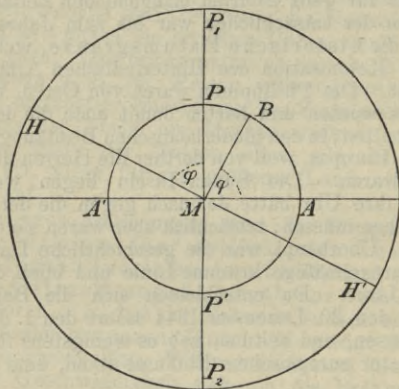


Fig. 22.

In der Form, in welcher wir oben die geographische Breite als Meridianbogen kennzeichneten, ist diese Definition für die Beobachtungspraxis unverwendbar, weil sie sich ausschließlich an die Erde selbst hält. Die Beziehung zur Himmelskugel wird jedoch sofort hergestellt durch nachstehenden Satz: Geographische Breite und Polhöhe eines Ortes sind einander gleich.  $M$  (Fig. 22) ist der gemeinsame Mittelpunkt der Erd- und Himmelskugel,  $PP'$  die Erdachse,  $AA'$  der Erdäquator,  $B$  irgend ein Punkt des in die Zeichnungs-

ebene fallenden Meridianes; dann ist  $\text{arc } AB = \sphericalangle AMB$  unserer Voraussetzung gemäß die geographische Breite von B. Ziehen wir durch M eine Gerade senkrecht auf BM, welche die Himmelskugel in H und H' schneidet, so ist HH' die Schnittlinie jener mit dem wahren Horizonte von B. Die verlängerte Erdachse trifft die Himmelskugel in den Punkten P<sub>1</sub> und P<sub>2</sub>, und es ist  $\text{arc } HP_1 = \sphericalangle HMP$  die Polhöhe von B. Man hat aber

$$\sphericalangle AMB + \sphericalangle BMP = \sphericalangle BMP + \sphericalangle HMP = 90^\circ$$

oder  $\sphericalangle AMB = \sphericalangle HMP$ . Man wird also immer die Erhebung des Poles über den Horizont, die wir bisher schon regelmäßig durch  $\varphi$  bezeichnet haben, zu ermitteln suchen. Die Anzahl der hierzu angewandten Methoden ist eine sehr große; nur einige der wichtigeren können hier ihren Platz finden, und von den mancherlei Kautelen, die der Beobachter zu berücksichtigen hat, muß hier ebenfalls abgesehen werden.

**I. Methode der Zirkumpolarsterne.** Dieselbe wurde bereits von den arabischen Astronomen mit Vorliebe angewandt. C (Fig. 23) sei wieder der Standort des Beobachters, S der Süd-, N der Nordpunkt, P der Pol, CP die Weltachse. Die auf CP senkrecht stehende Sehne Z<sub>1</sub>Z<sub>2</sub> soll die Bahn eines Zirkumpolarsternes sein; es wird  $90^\circ > NZ_2 > NZ_1$  vorausgesetzt. Der Figur zufolge ist  $PZ_1 = PZ_2 = z$ , und es bestehen die folgenden beiden Gleichungen:

$$PN = NZ_1 + z, \quad PN = NZ_2 - z.$$

Die Addition beider Gleichungen zeigt, daß die Polhöhe gleich dem arithmetischen Mittel der beiden Kulminationshöhen eines Zirkumpolarsternes ist. Falls

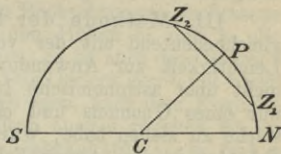


Fig. 23.

die obere Kulmination auf die Südseite der Himmelskugel fällt, ist der oberen Kulminationshöhe deren Komplement zu substituieren. Gewöhnlich wählte man als Beobachtungsstern den Polarstern, welcher erwähnstermaßen nicht genau am Nordpole steht, sondern einen kleinen Kreis um diesen beschreibt.

II. Methode des höchsten Sonnenstandes. Statt des Zirkumpolarsternes kann man auch einen beliebigen anderen Stern der Beobachtung unterstellen, wenn man seine Deklination kennt. Wenn  $h$  die Kulminationshöhe bedeutet, so hat man, wenn etwa der Stern südlich kulminiert, ( $\delta$  absolut)

$$90^\circ - \varphi + \delta = h, \quad \varphi = 90^\circ - (h - \delta).$$

Dieses Verfahren dient den Seeleuten nahezu ausschließlich, und zwar ist es immer die Sonne, an welche sie sich halten. Will der Kapitän, wie der technische Ausdruck lautet, sein Besteck aufnehmen, d. h. den augenblicklichen Ort seines Schiffes ausfindig machen, so sucht er zuerst die Breite, indem er genau um die Mittagszeit mit seinem Spiegelinstrumente die Höhe des oberen oder unteren Sonnenrandes über dem Wasserhorizonte mißt. Um die Höhe des Mittelpunktes zu erhalten, muß er den scheinbaren Halbmesser der Sonnenscheibe, der mit der Jahreszeit variiert, seinem astronomischen Kalender entnehmen und subtraktiv oder additiv in Rechnung bringen.

III. Methode der Schattenmessung. Prinzipiell gleichbedeutend mit der vorigen, kann diese Methode mit Leichtigkeit zur Anwendung gebracht werden, wenn man nicht über astronomische Instrumente verfügt. Man bedarf nur eines Gnomons und einer Mittagslinie; wie man eine solche zu ziehen habe, wurde oben gelehrt. Mißt man den Schatten in dem Augenblicke, da er am kürzesten ist, und findet seine Länge gleich  $c$ , während auch die Länge  $b$  des Gnomons bekannt ist, so kennt man auch die Kulminationshöhe  $h$  der Sonne, indem  $\tan h = b : c$  ist. Die Korrektur wegen des Sonnenhalbmessers ist hier gleichfalls anzubringen. Man kann auf solche Weise neben der Polhöhe auch die Schiefe der Ekliptik bestimmen, wie dies nach den — in diesem Falle aus inneren Gründen glaubwürdigen — chinesischen Annalen der Kaiser Tschu-kong um 1100 v. Chr. versucht haben soll. Wenn nämlich am längsten Tage das Schattenminimum =  $c_1$ , am kürzesten Tage =  $c_2$  gefunden



wird, so können die Polhöhe  $\varphi$  und die Ekliptikschiefe  $\varepsilon$  den folgenden beiden Gleichungen entnommen werden:

$$\text{tang } (90^\circ - \varphi + \varepsilon) = b : c_1, \quad \text{tang } (90^\circ - \varphi - \varepsilon) = b : c_2.$$

IV. Methode des Azimutes. Wenn ein Zirkumpolarstern im Azimut stationär wird, d. h. einige Zeit hindurch sich nur ganz langsam fortbewegt, so befindet er sich an einer die Polhöhenbestimmung begünstigenden Stelle. J. Boehm machte nämlich darauf aufmerksam, daß das sphärische Dreieck Zenit-Pol-Stern, wenn dieser Fall eingetreten ist, am Sterne einen rechten Winkel besitzt. Der Beobachter folgt mit dem Fernrohre seines Theodoliten der Bewegung des Sternes und stellt es in dem Momente fest, in welchem jener momentan keine Bewegung erkennen läßt; hierauf liest er das Azimut  $A$  am Horizontalkreise ab. Man kennt im genannten Dreiecke den rechten Winkel mit der gegenüberliegenden Seite ( $90^\circ - \varphi$ ) und den Winkel  $A$  mit der gegenüberliegenden Seite ( $90^\circ - \delta$ ), kann also zur Berechnung von  $\varphi$  vom Sinussatze Gebrauch machen.

V. Methode von Douwes. Die Navigationskunde hielt lange Zeit den Berechnungsmodus dieses niederländischen Seefahrers sehr hoch. Es werden zu beliebigen Zeiten die Höhen  $h_1$  und  $h_2$  des nämlichen Fixsternes gemessen; außerdem muß nur noch die zwischen beiden Beobachtungen verfllossene Zeit bekannt sein. Wenn dann den Höhen  $h_1$  und  $h_2$  die Stundenwinkel  $s_1$  und  $s_2$  entsprechen, so ist auch die Differenz  $s_1 - s_2 = s$  eine bekannte Größe. Das Dreieck Zenit-Pol-Stern liefert, da zwei Beobachtungen vorliegen, nach dem Kosinussatze zwei Gleichungen, und insofern auch  $s$  gegeben ist, so bestehen zur Berechnung der drei Unbekannten  $s_1$ ,  $s_2$  und  $\varphi$  drei Gleichungen:

$$\text{I. } \sin h_1 = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos s_1,$$

$$\text{II. } \sin h_2 = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos s_2,$$

$$\text{III. } s_1 - s_2 = s.$$

Addiert und subtrahiert man die Gleichungen I und II, verwandelt die Summen und Differenzen zweier Funktionen in Pro-

dukte und setzt endlich  $\frac{s_1 + s_2}{2} = \sigma$ , so verbleiben als zwei

neue Gleichungen mit zwei Unbekannten die folgenden:

$$\text{IV. } \cos \frac{1}{2} s \cos \delta \cos \varphi \cos \sigma + \sin \delta \sin \varphi = \sin \frac{1}{2} (h_2 + h_1) \\ \times \cos \frac{1}{2} (h_2 - h_1),$$

$$\text{V. } - \sin \frac{1}{2} s \cos \delta \cos \varphi \sin \sigma = \cos \frac{1}{2} (h_2 + h_1) \sin \frac{1}{2} (h_2 - h_1).$$

Isoliert man aus IV und V jeweils  $\cos \sigma$  und  $\sin \sigma$ , quadriert die beiden so umgestalteten Gleichungen, addiert sie und setzt  $\cos^2 \sigma + \sin^2 \sigma = 1$ , so ist die Größe  $\sigma$  eliminiert, und  $\cos \varphi$  oder  $\sin \varphi$  kann durch Auflösung einer quadratischen Gleichung gefunden werden. Freilich durften sich die Praktiker auf einen so umständlichen Weg der Lösung nicht einlassen, sondern behelfen sich mit vorausberechneten Tabellen.

VI. Methode von Horrebow-Talcott. Dieselbe wurde von dem Dänen Horrebow bereits in der ersten Hälfte des XVIII. Jahrhunderts empfohlen; andere halten den Österreicher Hell für den Erfinder. Jedenfalls hat sie in den Händen des Arabienreisenden Carsten Niebuhr ihre Brauchbarkeit vollauf dargetan, und nachdem neuerdings der Amerikaner Talcott wieder auf ihre Brauchbarkeit, gerade für feine Messungen, hingewiesen hatte, wurde ihr eine erhöhte Beachtung zugewandt. Das Beobachtungsfernrohr muß so gedreht werden können, daß es auch gegen das Zenit gerichtet werden kann, und eine ungefähre Kenntnis des gesuchten Winkelwertes  $\varphi$  ist erwünscht; außerdem muß ein durch Schraubendrehung bewegbarer Faden im Gesichtsfelde vorhanden sein, der aber zum Horizontalfaden immer parallel bleibt. Der Beobachter sucht sich je einen südlich und einen nördlich vom Scheitelpunkte kulminierenden Stern aus, die annähernd dem nämlichen Meridiane angehören; die Deklinationen  $d_1$  und  $d_2$  werden so gewählt, daß  $(d_1 + d_2)$  von der — obenhin bekannten — Größe  $\varphi$  nicht sehr verschieden ausfällt. Mittels des verschiebbaren Parallelfadens mißt man die Zenitdistanzen  $z_1$  und  $z_2$  der beiden erwähnten Sterne und findet

$$\varphi - d_1 = z_1, \quad d_2 - \varphi = z_2, \quad \varphi = \frac{1}{2} (d_1 + d_2) + \frac{1}{2} (z_1 - z_2).$$

Der bewegliche Faden war so gestellt worden, daß er bei der Kulmination des zuerst den Meridian passierenden Sternes durch diesen hindurch ging, und ebenso bei der Kulmination

des zweiten Sternes den letzteren verdeckte. Versteht man unter  $\delta$  die Winkeldistanz beider Lagen des Fadens, so hat

$$\text{man } \frac{1}{2}(z_1 - z_2) = \delta \quad \text{und}$$

$$\varphi = \frac{1}{2}(d_1 + d_2) + \delta.$$

Die in diesem Falle ohnehin sehr kleinen Korrekturen für Refraktion und Durchbiegung können leicht angebracht werden.

Der Umstand, daß, wie erwähnt, gerade für jene besonders exakten Breitenbestimmungen, welche die Gradmessungsarbeiten erheischen, mehr und mehr auf HORREBOW zurückgegriffen wird, hat zur Konstruktion eines neuen Instrumentes geführt, welches ALBRECHT unter dem Namen Zenitteleskop beschrieb. Daß dasselbe es ermöglicht, nach Maßgabe der schon oben gekennzeichneten Einrichtung horizontal in das Okular hineinblicken zu können, versteht sich von selbst. Das Fadennetz besteht, um die Genauigkeit tunlichst zu steigern, aus elf festen Fäden, die senkrecht auf der Bewegungsrichtung der Sterne stehen, und neben dem beweglichen Faden sind auch noch zwei zu ihm parallele Querfäden eingezogen, welche das Gebiet abgrenzen, innerhalb dessen die Messungen vor sich gehen sollen.

VII. Photographische Breitenbestimmung. Die ungemein großen Fortschritte, welche die Kunst, Lichtbilder anzufertigen, in unseren Tagen gemacht hat, konnten ihre Rückwirkung weder auf die Geodäsie, die in der Photographometrie ein ganz neues Präzisionsverfahren ausbildete, noch auch auf die Astronomie verfehlen. Schon von vornherein war anzunehmen, daß gewisse Personalfehler, von denen sich auch der zuverlässigste Beobachter wohl niemals ganz frei zu machen imstande ist, durch das Photogramm beseitigt werden, und wenn dies auch für feste Observatorien und für einen geregelten Beobachtungsdienst von minderer Wichtigkeit ist, so steigert sich doch die Nützlichkeit der photographischen Methode sehr, sobald man an den in fernen, vielfach unwirtschaftlichen Ländern arbeitenden Forschungsreisenden denkt, der unter den schwierigsten Verhältnissen sein Instrument zu handhaben hat. MARCUSE hat anlässlich seiner auf Hawaii angestellten Polhöhenmessungen erkannt, wie wertvoll es sein kann, die Individualität des die Messung Vornehmenden gleichsam teilweise



auszuschalten, und zwar trifft ihm zufolge dies insonderheit dann zu, wenn Fadenbeobachtungen nach Horrebow-Talcott in Mitte liegen. Schnauder hat mit einer speziell für Reisezwecke eingerichteten, um  $180^\circ$  drehbaren Zenit-Kamera Werte erhalten, die einen mittleren Fehler von  $\pm 2''$  hatten, mithin auch sehr hohen Anforderungen genügen. Das von Marcuse angegebene, von dem Mechaniker Günther (Braunschweig) ausgeführte photographische Reise-Universalinstrument paßt sich allen Aufgaben an, die in der Lehre von der geographischen Ortsbestimmung vorkommen können, und wird uns deshalb bald von neuem begegnen (S. 159).

Nachdem wir so die Bestimmung der Breite in ihren Grundzügen erledigt haben, wenden wir uns der

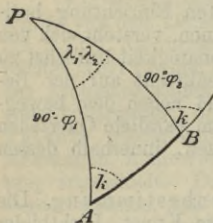


Fig. 24.

Bestimmung der geographischen Länge zu. In einzelnen Fällen, wenn nämlich die Entfernung  $\Delta$  zweier Erdorte bekannt ist, kann die Differenz der Längen dieser Orte direkt mittelst jener Gleichung gefunden werden, welche wir weiter oben ableiteten, um die Größe  $\Delta$  aus den Breiten  $\varphi_1$  und  $\varphi_2$ , sowie aus den Längen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  der beiden in Betracht kommenden

Kugelpunkte zu ermitteln. Es ist nämlich

$$\cos(\lambda_1 - \lambda_2) = \frac{\cos \Delta - \sin \beta_1 \sin \beta_2}{\cos \beta_1 \cos \beta_2}.$$

In der nautischen Rechnung tritt an die Stelle des gewöhnlichen sphärischen Dreiecks ein loxodromisches Dreieck, gebildet von den beiden Breitenkomplementen der Orte A und B (Fig. 24) und von dem Bogen AB einer Loxodrome, d. h. einer doppelt gekrümmten Kurve, welche sämtliche Meridiane unter gleichem Kurswinkel  $k$  durchschneidet. Es ist somit  $\sphericalangle PAB = k$

=  $180^\circ - \sphericalangle PBA$ , wenn P den nächst gelegenen Pol bedeutet. Die Länge des Bogens AB lieferte die Beobachtung des Logs; Seite  $PA = 90^\circ - \varphi_1$  und Seite  $PB = 90^\circ - \varphi_2$  sind als bekannt anzusehen, und die Längendifferenz  $\sphericalangle APB = \lambda_1 - \lambda_2$  kann mittels eines Lehrsatzes der loxodromischen Trigonometrie gefunden werden, indem man entweder von den drei Seiten oder von zwei Seiten und dem Kurswinkel als gegebenen Größen ausgeht.

Im übrigen reduziert sich das Problem der Längenbestimmung auf ein solches der Zeitbestimmung. Denn offenbar gilt, da die tägliche scheinbare Bewegung der Himmelskugel eine gleichförmige ist, der Satz: Der Längenunterschied zweier Erdorte ist proportional dem Unterschiede ihrer Ortszeiten. Und einzig auf Längenunterschiede kommt es in der Praxis an. Auf dem Festlande ist eine direkte Zeitübertragung möglich, und ein gleiches gilt auch für Plätze, die zwar durch weite Meere voneinander geschieden sind, durch submarine Kabel aber gleichwohl miteinander in Verbindung stehen. Vor der Erfindung des elektrischen Telegraphen ließ sich von der unmittelbaren Zeitvergleichung nur ein sehr beschränkter Gebrauch machen. Beliebte war das Verfahren, ein Blickfeuer anzuzünden; nur durften dann die beiden Orte A und B, um deren Längendifferenz es sich handelte, nicht allzuweit auseinanderliegen. An einem Höhenpunkte C, der sowohl von A als auch von B aus gesehen werden konnte, gab man ein Lichtsignal, und die Beobachter A und B zeichneten den Zeitpunkt auf, in welchem sie das Signal wahrgenommen hatten. Die Zeitdifferenz war damit gegeben, denn die Fortpflanzung des Lichtes erfolgt so schnell,

daß ihr gegenüber die kleinen irdischen Entfernungen als verschwindend anzusehen sind. Eine Rakete oder ein auffliegendes Pulverfäßchen lieferten gemeiniglich das optische Signal; nachmals verwendete man mit Vorteil auch das von Gauß erfundene Heliotrop, eine Spiegelverbindung, durch welche das Sonnenlicht nach einem entfernten Punkte hin gesendet werden kann. Kamen größere Distanzen in Betracht, so schaltete man wohl eine ganze Reihe von Zwischenpunkten  $C_1, C_2 \dots C_n$  ein, vervielfachte aber freilich dadurch die doch immer vorhandenen Fehlerquellen. Eine der zuverlässigsten Bestimmungen dieser Art führten zu Anfang des XIX. Jahrhunderts J. J. v. Littrow in Wien und Soldner in Bogenhausen bei München durch. Daß man auch natürliche Lichterscheinungen an die Stelle der künstlichen treten lassen kann, zeigten 1802 Benzenberg und Brandes, indem sie das Aufblitzen von Sternschnuppen zeitlich festlegten, ohne indessen dadurch eine sehr bedeutende Genauigkeit zu erzielen.

Die telegraphische Uhrvergleichung dagegen gewährt, wie leicht zu verstehen, eine nicht zu übertreffende Präzision. Seit 1844, in welchem Jahre der Amerikaner Wilkes auf die Vorteile des Drahtes zuerst hinwies, ist die telegraphische Methode mehr und mehr in Aufnahme gekommen. Überaus einfach gestaltet sich die Übertragung, wenn durch die Depesche, die in A aufgegeben wird, zugleich die Hemmung des Uhrlaufes in B eintritt; in dem Augenblicke, in welchem der Beobachter in A das Zeichen gab, war dort die Zeit  $t_1$ , und da die stehen gebliebene Uhr in B auf die Zeit  $t_2$  weist, so ist  $\pm(t_1 - t_2)$  die Zeitdifferenz; denn für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der galvanischen Erregung gilt nach den berühmten Versuchen von Hertz dasselbe, wie für diejenige des Lichtes. Allerdings ermöglicht solch einmalige Notierung keine Kontrolle. Um diese zu erhalten, verständigen sich die beiden Astronomen in A und B, den Durchgang des nämlichen Fixsternes durch das Gesichtsfeld ihrer Meridianfernrohre an einer



gleich großen Anzahl von Parallelfäden zu verfolgen und jeden Moment der Koinzidenz des Sternes mit einem solchen Faden chronographisch (s. o.) festzulegen.

Daß dabei die oben besprochene persönliche Gleichung eine gewisse Rolle spielt, läßt sich nicht leugnen; wenn aber die beiden Beobachter ihre Stellen vertauschen und dieselben Notierungen am neuen Stationsorte vornehmen, so kann der Personalfehler auf ein verschwindendes Minimum herabgedrückt werden. Daß trotzdem noch kleine Unrichtigkeiten zurückbleiben müssen, liegt in der Natur der Sache. Da man aber jetzt, wenigstens soweit das Innere der Kulturländer in Frage kommt, schon eine Fülle überschüssiger Bestimmungen besitzt, so kann die Annäherung an die absolute Wahrheit noch sehr viel weiter getrieben werden. Wir können annehmen, daß die Längen  $\lambda_3, \lambda_4 \dots \lambda_n$  einer Anzahl von Orten, die zwischen A (Länge  $\lambda_1$ ) und B (Länge  $\lambda_2$ ) gelegen sind, auf gleiche Art telegraphisch ermittelt wurden; alsdann muß die folgende Gleichung bestehen:

$$(\lambda_1 - \lambda_3) + (\lambda_3 - \lambda_4) + \dots + (\lambda_{n-1} - \lambda_n) + (\lambda_n - \lambda_2) = \lambda_1 - \lambda_2.$$

Völlig genau wird diese Identität niemals erfüllt sein, und dann hat die Wahrscheinlichkeitsrechnung einzusetzen, um rechnerisch ein Resultat von möglichst kleinem Fehler zu erhalten.

Alle diese Vervollkommnungen der telegraphischen Längenbestimmung verlieren ihren Wert, wenn die sogenannte Meereslänge gemessen werden soll, wenn also der Ort, auf dessen Position es ankommt, sich auf der hohen See befindet. Die durch Jahrhunderte gehegte Hoffnung, daß es gelingen werde, eine gesetzmäßige Beziehung zwischen Länge und magnetischer Mißweisung ausfindig zu machen, mußte endlich aufgegeben werden; der Kompaß ist in dieser Hinsicht nutzlos. Nur die astronomische Beobachtung vermag das Gewünschte zu leisten, sei es, daß sie sich selbst wieder auf astronomische Zeitmessung, sei es, daß sie sich auf die Vergleichung tragbarer Uhren mit dem Himmel stützt. Die bemerkenswertesten Vorschläge, die hierfür gemacht worden sind, und die sich teilweise zu eminent brauchbaren Verfahrensweisen verdichtet haben, sollen nachstehend besprochen werden.

I. Methode der Mondfinsternisse. Der Zeitpunkt des Eintretens des Mondes in den Schatten der Erde und

ebenso der Zeitpunkt des Austretens aus dem Schattenkegel ist für sämtliche Erdorte, denen überhaupt die Verfinsterung zu Gesichte kommt, objektiv der gleiche. Wenn mithin zwei nicht dem gleichen Meridiane angehörige Beobachter je einen Zeitpunkt konstatieren, so ist die Zeitdifferenz dem Längenschiede proportional. Hipparch machte um 130 v. Chr. auf diese Tatsache aufmerksam, und Ptolemäus zog in seiner um 150 n. Chr. geschriebenen „Geographie“ davon Nutzen, indem er die Zeitdifferenz Karthago-Gaugamela (Assyrien) gleich  $3^h$ , die Längendifferenz beider Orte folglich gleich  $45^0$  setzte. Diese Zahl war aber viel zu groß, und die dadurch bedingte Verzerrung des Mittelländischen Meeres in der Richtung der Parallelkreise entstellt sogar noch die Karten des XVIII. Jahrhunderts. Recht brauchbar wurde die Methode erst 1672, als Richer, dem bereits leidliche Karten der Mondoberfläche zu Gebote standen, das Eintauchen einzelner Mondberge in den Schatten fixierte, und in diesem Sinne tun uns die Mondfinsternisse auch heute noch gelegentlich Dienste.

II. Methode der Sonnenfinsternisse. Auch der Akt der Verdunklung der Sonne durch die Mondscheibe kann in ähnlicher Weise für die Ermittlung des Zeitunterschiedes verwertet werden. Da man es hier aber nicht mit einem für die ganze Sichtbarkeitszone tatsächlich synchronen Ereignis zu tun hat, so muß sich die Berechnung ungleich verwickelter, als im ersterwähnten Falle, gestalten, und für die geographische Praxis fielen die Sonnenfinsternisse nur wenig ins Gewicht.

III. Methode des Juppitertrabanten. Seit der Entdeckung der vier Begleiter des Planeten Juppiter durch Galilei (1610), denen in unseren Tagen Barnard noch einen fünften anreichte, hat man die Okkultationen unseres Mondes, die doch nur selten eintreten, durch die jener Trabanten größtenteils ersetzt. Dáran konnte ernstlich allerdings erst dann gedacht werden, als durch die Múhwaltung D. Cassinis und anderer Astronomen aus dem Anfange des XVIII. Jahrhunderts verlässige Tafeln für die Bewegung der fraglichen Himmelskörper berechnet worden waren. Übrigens ist die Entfernung derselben eine so namhafte, und der wechselnde Abstand der Satelliten vom Hauptkörper macht sich so sehr geltend, daß, wie wir noch sehen werden, die Zeiten, welche das Licht aus der einen und anderen Stellung braucht, um

sich bis zu unserem Auge fortzupflanzen, nicht mehr als gleich betrachtet werden dürfen.

IV. Methode der Mondkulminationen. Verschiedene Gelehrte des XVI. Jahrhunderts trugen sich mit dem Gedanken, die Zeiten, in denen der Mond an den verschiedenen Tagen des Jahres für einen gegebenen Ort den Meridian passiert, tabellarisch zu buchen und mit ersteren die an einem zweiten Orte tatsächlich beobachteten Kulminationszeiten zu vergleichen. Allein der Mond ist kein Fixstern, sondern hat eine stattliche Rektaszensionsbewegung, die genau bekannt sein muß. Gesetzt, in A sei  $t_1$  der vorausberechnete, in B sei  $t_2$  der beobachtete Termin; stände der Mond stille, so wäre  $\pm(t_1 - t_2)$  die wirkliche Zeitdifferenz. Aus den astronomischen Tafeln geht hervor, daß der Bogen, den der Mond während des betreffenden Tages gegen die Bewegungsrichtung des Himmels zurücklegte, im Winkelmaße den Wert  $a$  hatte. Dann ist der Bruch

$$\pm(t_1 - t_2) : a$$

dem Längenunterschiede proportional. Als der Polarfahrer Baffin im Jahre 1612 zuerst gemäß dieser Regel berechnete, um wieviel sein im Eise festgefrorenes Schiff westlich von London sich befand, erhielt er ein nur um  $1^\circ$  fehlerhaftes Ergebnis, was in jenen Jahren als ungewöhnlich exakt gelten durfte.

V. Methode der Mondstrecken. Gleichfalls sehr alt und schon in der Entdeckungsperiode, wenngleich noch ohne namhaften Erfolg, zur Anwendung gebracht, hat sich diese Methode jetzt ein solches Ansehen erworben, daß Seeleute und Entdeckungsreisende mit besonderer Vorliebe auf sie zurückgreifen. Vespucci, der Begleiter des Columbus, und Pigafetta, der Begleiter Vasco da Gamas, suchten mit ihrer Hilfe Längen zu messen, allein noch fehlten die theoretischen Vorbedingungen zur Verwirklichung einer an sich richtigen Idee. Doch brachten bald nachher Werner, Orontius Finäus und Peter Apian eine gewisse Ausbildung des Verfahrens zuwege, und hätte es nicht an den guten Tabellen gefehlt, so wäre schon weit früher die Geographie auf eine sichere Grundlage gestellt worden. So aber war es der Arabienreisende Carsten Niebuhr, der um 1780, da gerade jetzt des älteren Tobias Mayer verbesserte Mondtafeln eine neue



Epoche der nautischen Astronomie angebahnt hatten, das genannte Verfahren zu Ehren brachte. Auf hoher See hat auch der Weltumsegler Cook viele Längen in dieser Weise bestimmt.

Ein Fixstern S hat in A von dem ihm zunächst befindlichen Rande der Mondscheibe den sphärischen Abstand  $d_1$ , und in B wird eben diese Bogengröße zur gleichen Zeit gleich  $d_2$  gefunden. Könnte man hieraus berechnen, welches der Zeitpunkt wäre, in welchem auch für B der kürzeste Abstand nicht  $d_2$ , sondern  $d_1$  selbst würde, so hätte man abermals die Differenz dieser beiden Zeiten als Maßstab der Längendifferenz. Und zwar gilt dies nur dann, wenn man sich das Auge des Beobachters als im Mittelpunkte der Erde befindlich vorstellt. Die Himmelskugel ist nach dem schönen Gleichnis J. Herschels das Zifferblatt, an dem wir die Zeit ablesen, und der Zeiger, d. h. der Mond, ist uns so unverhältnismäßig viel näher, daß nur aus dem Erdzentrum heraus letzterer an derjenigen Stelle der Uhrfläche erblickt wird, an die er wirklich gehört. Wir werden sehen, daß und wie diesen Anforderungen Rechnung getragen werden kann.

In den astronomischen Kalendern, deren sich der Seemann zu bedienen hat, wird die Entfernung des Mondes von gewissen Fundamentalsternen für bestimmte, äquidistante Termine angegeben. Der Zeitpunkt, in dem die Abstandsmessung vorgenommen wird, braucht mit einem der Termine nicht gerade zusammenzufallen, weil eine einfache Interpolation die entsprechende Distanz finden läßt. Indem wir einstweilen annehmen, daß alle Messungen auf den Erdmittelpunkt zurückgeführt seien, denken wir uns, man habe zur Zeit  $t^h$  den Abstand von Mond und Fundamentalstern gemessen und gleich  $\delta$  gefunden. Andererseits lehrt die Ephemeride, daß am gleichen Tage um  $a^h$  die fragliche Entfernung =  $\delta_1$ , um  $b^h$  dagegen =  $\delta_2$  an jenem Orte A ist, für den die Tabelle berechnet ist. Dabei ist  $\delta_1 < \delta < \delta_2$ . Welches war nun die Zeit  $\tau$  in A, als dort die Mondstanz des Fundamentalsternes den Wert  $\delta$  hatte? Zwischen  $a^h$  und  $b^h$  nahm in A die Entfernung um die Winkelgröße  $\Delta$  zu. Dann besteht folgende Proportion:

$$\Delta : (\delta - \delta_1) = a : x,$$

die auch durch die nachstehende ersetzt werden kann:

$$\Delta : (\delta_2 - \delta) = b : y.$$

Die zu berechnenden Größen  $x$  und  $y$  sind dann bezüglich additiv und subtraktiv in Rechnung zu bringen, so daß

$$\tau = a + x - t = b - y - t$$

zu setzen ist. Die Differenz der Längen zwischen dem Schiffsorte und demjenigen Platze, auf den sich der nautische Almanach bezieht, ist demnach proportional der Differenz ( $t - \tau$ ).

Nunmehr ist noch die geozentrische Reduktion nachzutragen. In Fig. 25 soll  $P$  den Pol,  $M$  den wahren Mondrand und  $S$  den wahren Sternort bedeuten, während die Beobachtung für  $M$  einen Punkt  $M'$  und für  $S$  einen Punkt  $S'$  ergab.  $M'$  und  $S'$  sind die durch Parallaxe und Refraktion entstellten Örter, und da beide Fehlerquellen nur in der Richtung des Meridianes sich äußern, so muß  $M'$  auf dem größten Kreise  $MP$ ,  $S'$  auf dem größten Kreise  $SP$  liegen. Der Bogen  $M'S' = d'$  ist wirklich gemessen und folglich ebenso bekannt, wie die vier Bogen  $PM = \zeta$ ,  $PM' = \zeta'$ ,  $PS = \psi$ ,  $PS' = \psi'$ . Gesucht wird Bogen  $MS = d$ . Den beiden sphärischen Dreiecken  $PMS$  und  $PM'S'$  entnimmt man, den Winkel am Pole gleich  $A$  setzend, die Gleichungen:

$$\cos d = \cos \zeta \cos \psi + \sin \zeta \sin \psi \cos A,$$

$$\cos d' = \cos \zeta' \cos \psi' + \sin \zeta' \sin \psi' \cos A.$$

Die Größe  $\cos A$  ist leicht zu eliminieren, und es bleibt dann übrig:

$$\frac{\cos d - \cos \zeta \cos \psi}{\sin \zeta \sin \psi} = \frac{\cos d' - \cos \zeta' \cos \psi'}{\sin \zeta' \sin \psi'}.$$

In dieser Gleichung ist  $\cos d$  die einzige unbekannte Größe.

Statt des Mondrandes könnte natürlich allenthalben auch der Mondmittelpunkt als der Punkt gewählt werden, dessen Winkeldistanz vom Fundamentalsterne gesucht werden soll. Man hätte nur immer noch den scheinbaren Halbmesser der Mondscheibe abzuziehen, und auch dieser Betrag findet in den Ephemeriden seinen Platz.

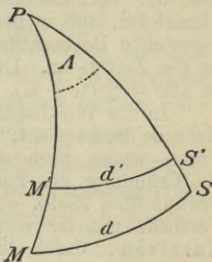


Fig. 25.

VI. Chronometrische Methode. Im Jahre 1530 erinnerte der Niederländer Gemma Frisius daran, die unlängst erfundenen tragbaren Uhren für das Problem der Meereslänge auszunützen. Besäße man in der Tat eine Uhr, die ihren Gang ganz und gar nicht verändert, wie weit man sie auch von ihrem ursprünglichen Orte entfernt, so wäre die Aufgabe in denkbarst einfacher Weise gelöst. Die Uhr behält eben der Voraussetzung zufolge die Ortszeit von A ein für allemal bei, und in dem Augenblicke, in dem eine am Orte B angestellte Beobachtung für diesen die Zeit  $t_2$  lieferte, gab sie die Zeit  $t_1$  an. Die Differenz der Ortszeiten von A und B ist also  $= \pm (t_1 - t_2)$ .

In der Wirklichkeit leistete die theoretisch unangreifbare Methode lange nicht, was man von ihr erwartet hatte. Die Uhren waren noch allzu unvollkommen, und nicht einmal die Erfindung der Pendeluhr durch Huygens verhalf zum gewünschten Ziele, obwohl man im Jahre 1663 umfassende Versuche mit ihr vornahm. Erst 1735 trat der Mechaniker Harrison, durch eine vom englischen Parlamente ausgegangene Preiskonkurrenz hierzu angeregt, mit seinem Time-Keeper („Zeit-Halter“) hervor, der eine gegen Wärmeschwankungen kompensierte Unruhe hatte und schließlich derart ausgestaltet wurde, daß man in ihm das erste eigentliche Chronometer anzuerkennen hat. Seitdem hat die Uhrmacherskunst noch große Schwierigkeiten überwunden, und die Verbesserung der Chronometer hat es dahin gebracht, daß eine solche Präzisionsuhr, wenn man sie zuerst in die Temperatur des siedenden und hernach sofort in die des gefrierenden Wassers verbringt, kaum mehr eine merkliche Gangstörung erleidet. Die Deutsche Seewarte in Hamburg verfügt über ein Kabinett, in welchem Chronometer, die dem Institute seitens der Kriegs- und Handelsmarine zur Prüfung zugewiesen werden, die verschiedenen Temperaturproben durchmachen müssen, und kein Instrument erhält das Zeugnis vollständiger Brauchbarkeit, wenn nicht die durch den Wechsel hervorgerufene Unregelmäßigkeit unterhalb einer sehr niedrigen, von vornherein festgesetzten Grenze verbleibt.

Hiermit kann die Lehre von der geographischen Ortsbestimmung insoweit als abgeschlossen gelten, wie dies für unsere Zwecke überhaupt zulässig erschien.



Nur anhangsweise sei darauf hingewiesen, daß unsere bisherige Definition der geographischen Koordinaten keine ganz allgemeine war, indem wir stillschweigend voraussetzten, daß der Ort, mit dem wir uns beschäftigten, im Meeresniveau gelegen sei. Da dies gewöhnlich nicht zutrifft, so muß zu den beiden Winkelkoordinaten, deren Bestimmung wir jetzt kennen, noch eine lineare Koordinate hinzutreten, nämlich der Abstand des Ortes vom Erdmittelpunkte. Diese Strecke setzt sich aus zwei Stücken additiv oder subtraktiv zusammen, nämlich einmal aus dem Erdhalbmesser und aus der Entfernung des Beobachtungsortes vom Meeresspiegel. Der ersterwähnte Bestandteil wird im nächsten Abschnitte zur Besprechung gelangen; der zweite deckt sich mit der Meeres- oder Seehöhe, welche nicht nur im Inneren des Meeres, sondern auch in Bergwerken und im Bereiche der sogenannten Depressionen — Totes Meer, Oase des Juppiter Ammon u. s. w. — negative Werte annehmen kann. Die Ermittlung der Meereshöhe fällt nicht der astronomischen Geographie als solcher zu, sondern diese macht, um auch die dritte Koordinate zu erhalten, Anleihen bei anderen Disziplinen, bei Geodäsie und Physik. Nur in aller Kürze stellen wir die vier Methoden zusammen, welche zum Zwecke der Höhenmessung Anwendung zu finden pflegen.

I. Methode des Nivellements, die weitaus genaueste, aber zugleich auch mühsamste. Das Nivellierinstrument besteht wesentlich in einem horizontal längs eines Vertikalstabes verschiebbaren Fernrohre, dessen Sehachse auf einen bestimmten Teilpunkt einer zweiten vertikalen, in gleiche Teile getheilten Latte gerichtet ist. Indem der Beobachter am Abhange einer Erhöhung hinansteigt und nach Zurücklegung eines kurzen Weges dessen vertikale Komponente

an der von seinem Gehilfen in geringer Entfernung aufgestellten Nivellierlatte abliest, zerlegt er sozusagen die Gesamthöhe in eine Anzahl kleiner Stücke, von denen jedes einzelne mit der größten Schärfe gemessen werden kann.

II. Trigonometrische Methode. Man steckt eine Basis ab, von deren Endpunkten man den Höhenpunkt sehen kann, dessen Erhebung über einer Ebene von bekannter Seehöhe gefunden werden soll. An einem Vertikalkreise, dessen Mittelpunkt mit beiden Endpunkten der Grundlinie zur Deckung gebracht wird, liest man sowohl die Elevationswinkel ab, welche die erwähnte Gesichtslinie mit der nach dem Fußpunkte gerichteten Horizontallinie einschließt, als auch den Horizontalwinkel zwischen jener Horizontallinie und der Basis. Alles Weitere bleibt der ebenen Trigonometrie vorbehalten. Da die Erhebung des anvisierten Punktes über dem Horizont meist nur wenige Grade beträgt, so leidet das trigonometrische Verfahren unter den starken Fehlern, die aus der terrestrischen Strahlenbrechung entspringen.

III. Barometrische Methode. Man liest den Stand  $b_1$  des Barometers zuerst an dem tiefer gelegenen Punkte  $A_1$  und sodann den Stand  $b_2$  an dem höher gelegenen Punkte  $A_2$  ab. Wenn  $h$  die Entfernung der beiden durch  $A_1$  und  $A_2$  gelegten Horizontalebene,  $c$  eine Konstante bedeutet, so ist

$$h = c (\log b_1 - \log b_2) = c \log (b_1 : b_2).$$

Diese einfache Formel, welche als der erste Halley gegen Ende des XVII. Jahrhunderts aufstellte, bedarf allerdings, wenn sie gute Erfolge liefern soll, noch einer Reihe von Zusatzgliedern, welche dem Einflusse von Temperatur, Dunstdruck und Erdanziehung Rechnung tragen. Die volle Präzision, deren die Methode fähig ist, wird nur dann erreicht, wenn man mit einem Quecksilberbarometer operiert; da aber das Feder- oder Aneroidbarometer ungleich leichter zu handhaben ist, so hat man sich in neuerer Zeit bemüht, die Genauigkeit auch dieses Instrumentes möglichst zu erhöhen. Darin ist man denn auch ziemlich weit gekommen, und der Reisende kann sich auf die Höhenbestimmung mit dem Aneroid um so sicherer verlassen, wenn er zur Kontrolle noch anwendet eine vierte, nämlich die

IV. Thermometrische Methode. Dieselbe beruht auf dem Satze: Eine flüssige Masse gerät um so früher

ins Sieden, je geringer der Druck ist, welcher auf ihrer Oberfläche lastet. Das Kochthermometer, das der Bergbesteiger mit sich führt, zeigt somit, wenn auch nur indirekt, die Stärke des gerade herrschenden Luftdruckes an, und da man Tabellen berechnet hat, die den Barometerstand neben die Siedetemperatur stellen, so ist ersichtlich die thermometrische Methode nur eine Modifikation der barometrischen.

---

## X. Erdmessung und schärfere Bestimmung der Erdgestalt.

Die Erde wurde bisher von uns als eine reine Kugel aufgefaßt, indem die kleinen Trübungen des Oberflächenmodelles als ganz unwesentlich erkannt worden waren. Unsere nächste Pflicht besteht darin, die Größe des Erdhalbmessers  $R$  zu bestimmen. Daß dies angängig ist, zeigt eine einfache Betrachtung, welche von der gegenseitigen Lage der Erd- und Himmelskugel ausgeht. Je einem größten Kreise der letzteren entspricht ein Hauptkreis der Erde, und auf letzterem einen aliquoten Teil abzugrenzen, muß demnach durch astronomische Beobachtung ermöglicht werden. Dann hat man diesen aliquoten Teil durch irgend welche Vermessung auf ein Linearmaß zurückzuführen, und damit ist der Umfang  $2 R \pi$  in ebendiesem Maße gegeben. Eine von Curtze aufgefundene, dem XIV. Jahrhundert angehörige Handschrift, welche sich als deutsche Übersetzung einer geodätischen Schrift des Robertus Anglicus zu erkennen gibt, kennzeichnet diesen Grundgedanken aller Erdmessung in folgender treffender Weise: „Es was möglich mit der erden dyameter zu messen,



wann erklärt sey, daß der erden center in der sper ist des hymels center. Darumb ist notturft, das die schyblechtigkait“ — rotunditas — „der erden sei in gleichem zwistand mit der schyblechtigkait des hymels.“

Den ersten ernst zu nehmenden Versuch,  $2R\pi$  zu bestimmen, machte Eratosthenes von Alexandria im III. vorchristlichen Jahrhundert. Er glaubte sich ver-

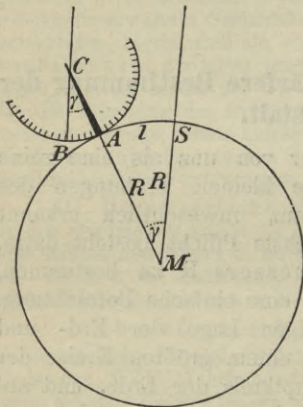


Fig. 26.

sichert halten zu dürfen, daß A (Alexandria) und S (Syene) in Fig. 26 dem gleichen Meridiane angehörten, und daß Syene genau unter dem Wendekreise des Krebses liege. Von dieser Voraussetzung ausgehend, stellte er in A ein Skaphion, eine metallene Hohlhalbkugel, auf, in deren tiefstem Punkte ein vertikaler Zeiger von der Größe ihres Radius angebracht war. Am längsten Tage um die Mittagszeit fielen die Sonnenstrahlen so ein,

daß der Zeiger AC einen Schattenbogen  $AB = \gamma$  ergab. Die über A hinaus verlängerte Gerade CA muß durch den Erdmittelpunkt M hindurchgehen, und MS muß, wenn S die Sonne im Zenit hat, zu BC parallel sein. Demgemäß ist  $\sphericalangle AMS = \gamma$ . Der Linearabstand  $AS = l$  konnte den musterhaft geführten ägyptischen Katasterbüchern entnommen werden, und es bestand die Proportion:

$$2R\pi : l = 360^\circ : \gamma^\circ.$$

Damit war

$$R = \frac{1801}{\pi \gamma}$$

bekannt. Eratosthenes fand  $\gamma = \frac{360^\circ}{50} = 7^\circ 12'$ ;

l wurde ihm gleich 5000 Stadien angegeben, und daraus berechnete er  $2 R \pi = 250\,000$  Stadien. Nach den metrologischen Untersuchungen von Hultsch hatte das alexandrinische Stadion eine Länge von rund 158 m, so daß  $2 R \pi = 39\,500$  km zu setzen wäre. Legt man die übliche Zahl von 111 km für den Grad eines terrestrischen Hauptkreises zugrunde, so wird  $2 R \pi = 39\,960$  km. Der Fehler ist verhältnismäßig nicht groß, da zumal Eratosthenes eine Menge unsicherer Daten in seinen Kalkul einzuführen genötigt war.

Etwa zweihundert Jahre später gab Posidonius dem an sich durchaus richtigen Prinzipie seines Vorgängers eine etwas veränderte Gestalt. Er glaubte gefunden zu haben, daß der Stern Kanopus in Rhodus gerade noch aufgehe, während er in Alexandria eine Kulminationshöhe erreiche, die gleich  $\frac{1}{48}$  des ganzen Kreises sei. Ist wieder l der Meridianabstand der durch Rhodus und Alexandria gehenden Parallelkreise, so hat man:

$$2 R \pi : l = 1 : \frac{1}{48}.$$

Da Posidonius sich für l keine genaueren Anhaltspunkte zu verschaffen wußte, so ließ er es bei der Ungleichung

$180\,000$  Stadien  $< 2 R \pi < 240\,000$  Stadien  
bewenden.

Mit größeren Mitteln wurde auf Anregung des arabischen Kalifen Al Mamun um 827 n. Chr. an die Aufgabe herangetreten. Da man stets darauf bedacht war, genau einen Meridiangrad in einer Ebene abzustecken und seine Länge durch feldmesserische Operationen zu ermitteln, so hat sich von da an für alle Bestrebungen, Größe und Gestalt der Erde genauer kennen zu lernen, die Bezeichnung Gradmessung

erhalten, mag dieselbe auch in sehr vielen Fällen eine allzu enge sein. In der palmyrenischen Steppe und in Mesopotamien wurde je eine solche Messung vorgenommen, und zwar geschah dieselbe mittelst aneinander gelegter Stäbe. Im Mittel fand sich  $2 R \pi = 360 \cdot 56 \frac{2}{3} = 20\,400$  arabische Meilen. Leider ist eine wirklich befriedigende Vergleichung dieser Maßeinheit mit den uns geläufigen Maßeinheiten nicht wohl durchführbar.

Eine kürzere Grundlinie kann, falls die nötige Vorsicht obwaltet, mit höchster Genauigkeit gemessen werden, wogegen Längen von mehr denn 100 km, wie sie die Araber bei ihrer

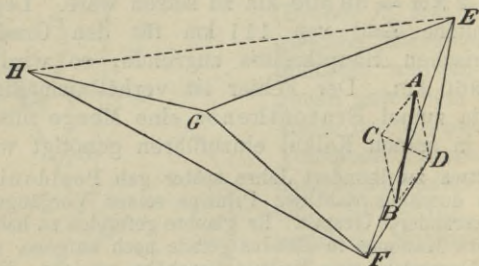


Fig. 27.

Gradmessung benützten, einer solchen direkten Ausmessung selbst im ebensten Gelände nicht fähig sind. Noch weniger konnte der rohe Versuch Fernels (1527) genügen, größere Strecken durch die Zahl der Umdrehungen eines Wagenrades zu bestimmen. Hinweisen auf eine Triangulation begegnet man allerdings auch schon im XVI. Jahrhundert zu wiederholten Malen, so bei Gemma Frisius, Münster und Rheticus; doch erst Rudolf Snellius bewerkstelligte im zweiten Jahrzehnt des XVII. Jahrhunderts eine solche Dreiecksmessung wirklich und führte damit eine neue Epoche in den Gradmessungsarbeiten herauf. Wir geben in Fig. 27 eine Skizze seiner Verknüpfung von Linien- und Winkelmessung. Auf horizontaler Fläche, wie sie Holland zumal zu Zeiten winterlicher Überschwemmungen in unerreichbarer Vollkommenheit darbietet, grenzte Snellius eine Strecke AB



ab und fand sie mit Hilfe eiserner Meßstäbe gleich 8705 Ruthen. Von den Endpunkten A und B visierte er nach den beiden Signalpunkten C und D, und nachdem er  $\sphericalangle ABC$ ,  $\sphericalangle BAC$ ,  $\sphericalangle ABD$  und  $\sphericalangle BAD$  erhalten, war er in der Lage, die zweite Diagonale CD des Viereckes ACBD trigonometrisch zu berechnen. Diese diente ihm als neue Basis, um Seiten und Winkel der Dreiecke CDE und CDF zu finden; E entspricht seinem Wohnorte, der Stadt Leiden, und F dem benachbarten Dorfe Soeterwonde. Damit war eine dritte Basis EF gewonnen, welche durch Messung der beiden anliegenden Winkel zur Konstruktion des Dreieckes EFG — G ist die Ortschaft Vorschote — verhalf. Wiederum diente jetzt FG als Grundlinie, um einen Fixpunkt H in der Stadt Haag als Blickziel zu nehmen und das Dreieck FHG zu berechnen. Wurde jetzt noch EH gezogen, so hatte man im Dreieck EGH die beiden Seiten EG und GH, sowie den eingeschlossenen  $\sphericalangle EGH = 360^\circ - (\sphericalangle EGF + \sphericalangle FGH)$  zur Verfügung, und so war endlich auch EH bekannt. Diese

Strecke verwertete Snellius als neue Basis, um ein die zentralen Niederlande ganz überdeckendes Dreiecksnetz herzustellen. Dasselbe stellte ein Polygon dar, dessen Eckpunkte durch die Projektionen von Turmspitzen der Städte Leiden, Haag, Gouda, Dordrecht, Bergen op zoom, Breda, Bommel, Utrecht, Amsterdam, Alkmaar und Haarlem gegeben waren. Denken wir uns A (Fig. 28) als

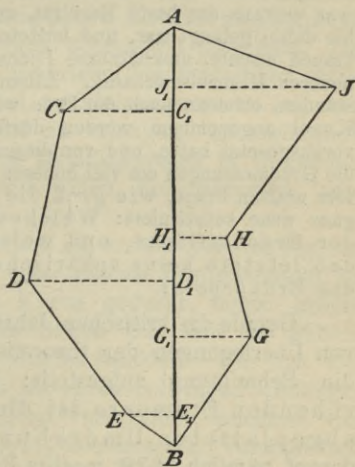


Fig. 28.

als nördlichen und B als südlichen Endpunkt des Meridianbogens, welcher eine Diagonale des Vieleckes ACDEBGHJA abgibt, und fällen wir aus den übrigen Eck-

punkten Senkrechte  $CC_1$ ,  $DD_1$ ,  $EE_1$ ,  $GG_1$ ,  $HH_1$ ,  $JJ_1$  auf  $AB$ , so können die zwischen den einzelnen Fußpunkten dieser Lote gelegenen Abschnitte nach den Regeln der Polygonometrie berechnet werden, und es wird

$$\begin{aligned} AB &= AC_1 + C_1D_1 + D_1E_1 + E_1B \\ &= BG_1 + G_1H_1 + H_1J_1 + J_1A. \end{aligned}$$

So gewaltige Vervollkommnungen und Erweiterungen auch die höhere Geodäsie in den seit Snellius vergangenen zweihundertundachtzig Jahren erfahren hat, so hat man gleichwohl an dem Prinzipie des Triangulationsverfahrens niemals gerüttelt.

Die in ihrer Art ebenfalls achtbaren, hinter der Gradmessung des Snellius aber zurückbleibenden Erdmessungsversuche von Norwood, Blaeu, Riccioli und Grimaldi kurz streifend, verweilen wir wieder bei der verdienstvollen Arbeit, die Picard von 1669 bis 1670 in Frankreich ausführte. Er fand  $2R\pi = 360 \cdot 57060$  Toisen (1 Toise = 1,949 m). Dies war weitaus das beste Resultat, zu welchem die Wissenschaft bis dahin gelangt war, und leistete, weil Newton davon Gebrauch machte, unschätzbare Dienste bei der Begründung der neueren Himmelsmechanik. Allein schon waren Zweifel entstanden, ob denn auch die Erde wirklich als die geometrische Kugel angenommen werden dürfe, als welche Picard sie vorausgesetzt hatte, und von diesem Zeitpunkte an hatten sich die Gradmessungen ein viel höheres Ziel, als vordem, zu setzen. Der uralten Frage, wie groß die Erdkugel sei, ward eine ganz neue substituiert: Welches ist die wahre Gestalt der Erdoberfläche, und welches sind in dem Falle, daß letztere keine sphärische ist, die Dimensionen des Erdkörpers?

Gerade im kritischen Jahre 1669 hatte Huygens, von Überlegungen der theoretischen Mechanik geleitet, die Behauptung aufgestellt: Die Oberfläche der ruhenden Erdmeere ist die eines an den Polen abgeplatteten Umdrehungsellipsoides. Bald darauf, nämlich 1672, machte Richer die überraschende Wahrnehmung, daß in Cayenne, also in einem dem Gleicher benachbarten Orte, das Sekundenpendel kürzer als in Paris sei, und diese Tatsache durfte Huygens

mit gutem Rechte für seine Ansicht verwerten. Unter einem anderen Gesichtspunkte verfiel auch Newton auf die Identifizierung der Erde mit einem abgeplatteten Sphäroide, und es drängte sich so die Notwendigkeit auf, die einstweilen bloß mit den Hilfsmitteln der Physik — wovon später — behandelte Frage auch der geodätischen Prüfung zu unterziehen. Mehrere Jahrzehnte lang dauerte die zu diesem Behufe von D. und J. Cassini vorgenommene Vermessungsarbeit in Frankreich, die aber nicht nur keine Bestätigung der Huygens-Newton'schen These, sondern eher ein Gegenteiliges Ergebnis liefern zu wollen schien; man glaubte in der ersten Hälfte des XVIII. Jahrhunderts vielfach, daß man die Erde als verlängertes Rotationsellipsoid betrachten müsse. Endlich überzeugte man sich, daß das Areal, auf dem die bisherigen Gradmessungen stattgefunden hatten, ein viel zu kleines gewesen sei, und daß man, um Gewißheit zu erlangen, unumgänglich zweier Messungen eines Meridiangrades in Gegenden bedürfe, die um nahezu einen Erdquadranten auseinanderlägen.

Warum das erforderlich ist, ersieht man aus Fig. 29. Der Erdmeridian wird, ohne nähere Bestimmungen zu treffen, als eine ovale Kurve gedacht, deren größte Sehne AB und kleinste Sehne CD sich im Mittelpunkt M rechtwinklig durchschneiden. Um uns von der Länge eines Grades für einen beliebigen Umfangspunkt E ein klares Bild zu verschaffen, zeichnen wir in E, nach feststehenden geometrischen Vorschriften, den Krümmungskreis, dessen Mittelpunkt in K, auf der in E an die Kurve gelegten Normale, liegen muß. Die Strecke EK führt den Namen Krümmungsradius. Kurve und Kreis berühren sich so innig, daß man, so-



lange man sich nicht weit von E entfernt, beide als identisch betrachten, eine Gradlänge also ebensogut auf dieser, wie auf jener Linie abmessen kann. Wiederholt man diese Konstruktion in den Punkten A und C, so erhält man bezüglich die Krümmungsradien AL und CN und erkennt sofort, daß  $AL < CN$  ist. Versteht

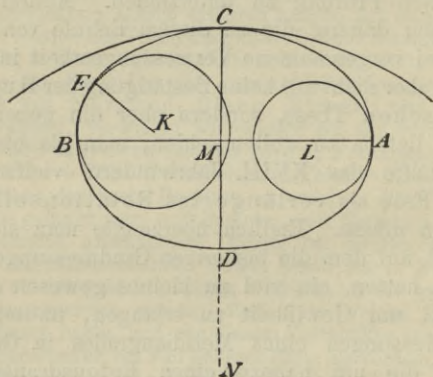


Fig. 29.

man unter  $G_A$  und  $G_C$  die zu A und C gehörigen Gradlängen der Meridiankurve, so hat man unverzüglich

$$G_A = \frac{AL \cdot \pi}{180}, \quad G_C = \frac{CN \cdot \pi}{180}; \quad G_A < G_C.$$

Mit anderen Worten: Die Meridiankurve ist an den Polen abgeplattet, wenn ihre Grade vom Äquator gegen die Pole hin zunehmen; sie ist an den Polen verlängert, wenn ihre Grade vom Äquator gegen die Pole hin immer kleiner werden.

Die damit angedeutete Entscheidung bahnte sich für den Erdkörper an, als 1735 Frankreich die Kosten für zwei nach dem Äquator und nach dem hohen Norden zu entsendende Expeditionen zu tragen sich entschloß, denen einzig die Aufgabe gestellt ward, mit den damals bereits sehr verfeinerten Methoden je einen Meridiangrad auf das exakteste zu messen. Bouguer und De la Condamine begaben sich mit ihren Gefährten nach Peru; Maupertuis führte eine kleine Schar von Fachmännern nach dem schwedischen Lappland. In der folgenden Zusammenstellung kennzeichnet  $\varphi$  die Breite des Mittelpunktes des gemessenen Grades G, dessen Länge in Toisen angegeben wird; um 1740 kannte man die nachstehenden Wertepaare:

| $\varphi$                          | G     |
|------------------------------------|-------|
| - 1° 31' (Bouguer-De la Condamine) | 56734 |
| + 49° 13' (Picard)                 | 57060 |
| + 66° 20' (Maupertuis)             | 57438 |

Damit ist unzweideutig ausgesprochen, daß die Meridiankurve der Erde eine Abplattung an den Polen aufweist, und im Zusammenhalte mit den von Huygens und Newton hervorgehobenen Momenten kann es keinem Zweifel mehr unterliegen, daß der Erdkörper durch Umdrehung einer halben Ellipse um ihre kleine Achse entstanden zu denken ist. Verschweigen wollen wir nicht, daß sich Maupertuis' Zahl bei einer siebzig Jahre später von Svanberg veranstalteten Nachmessung als ziemlich ungenau herausgestellt hat, ohne daß doch der Fehler den aus der Vergleichung der peruanischen und lappländischen Gradmessung zu ziehenden Schluß zu alterieren vermöchte.

Schon Maupertuis hatte gezeigt, wie man, wenn zwei unter verschiedenen Polhöhen gemessene Meridiangradlängen vorliegen, die gestaltlichen Verhältnisse der Meridianellipse berechnen kann, und Bohnenberger entwickelte dafür eine sehr elegante Formel. Unter a die große, unter b die kleine Halbachse der Ellipse verstehend, deren Gleichung im rechtwinkligen Achsensysteme

$$a^2y^2 + b^2x^2 = a^2b^2$$

wäre, hat man die Abplattung  $\alpha = (a - b) : a$  und die Exzentrizität  $\varepsilon = \sqrt{a^2 - b^2} : a$  zu setzen. Die Mittelpunkte der beiden

bekannten Breiten sollen die Breiten  $\varphi$  und  $\psi$  haben; dann ist, wenn  $G_\varphi$  und  $G_\psi$  die Gradlängen selbst vorstellen,

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{G_\varphi^{\frac{2}{3}} - G_\psi^{\frac{2}{3}}}{G_\varphi^{\frac{2}{3}} \sin^2 \varphi - G_\psi^{\frac{2}{3}} \sin^2 \psi}}.$$

Kommt noch eine dritte Gradlänge hinzu, so kann man aus ihr, in Verbindung mit  $\varepsilon$ , auch  $a$  und  $b$  berechnen.

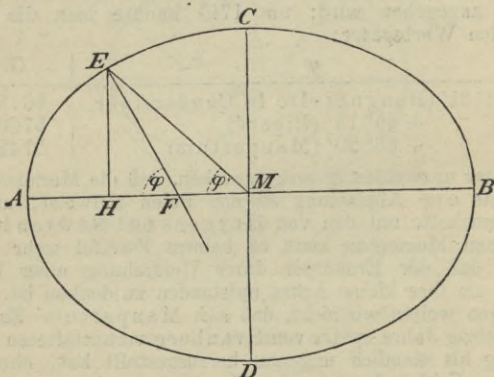


Fig. 30.

Wir haben uns des Wortes Polhöhe auch hier anstandslos bedient, müssen aber jetzt noch eine aufklärende Bemerkung nachsenden. Für eine sphärische Erde ist es gleichgültig, von welcher der beiden möglichen Definitionen der Polhöhe oder geographischen Breite  $\varphi$  wir Gebrauch machen:  $\varphi$  ist der Winkel, den der Radiusvektor mit der Äquatorebene bildet;  $\varphi$  ist der Winkel zwischen Normale und Äquatorebene. Jetzt ist der Sachverhalt ein anderer geworden. Wiederum sei M (Fig. 30) das Zentrum, AB die große, CD die kleine Achse der Meridianellipse, E ein beliebiger Punkt auf dieser. Die in E an die Kurve gelegte Normale schneidet die große Achse,



die in der Äquatorebene des Erdsphäroides liegt, in F, und ein Blick auf die Figur lehrt, daß EF mit dem Fahrstrahle EM nicht zusammenfallen kann, es müßte denn E in einen der Endpunkte der großen oder kleinen Achse zu liegen kommen. Als geographische Breite kann nur  $\sphericalangle EFA = \varphi$  anerkannt werden, während  $\sphericalangle EMA = \varphi'$  den Namen geozentrische Breite führen mag. Wenn  $EH = y$  und  $MH = x$  die rechtwinkligen Koordinaten des Punktes E sind, so gelten der analytischen Geometrie zufolge die nachstehenden Gleichungen:

$$\text{tang } \varphi = \frac{a^2 y}{b^2 x}, \quad \text{tang } \varphi' = \frac{y}{x}, \quad \text{tang } \varphi \cotang \varphi' = \frac{a^2}{b^2}.$$

Nachdem wir so einige Begriffe und Formeln gewonnen haben, die eine Konsequenz der sphäroidischen Theorie sind, kehren wir zu den Gradmessungen zurück. Es kam zunächst darauf an, die Elemente des Erdellipsoides möglichst genau zu bestimmen, und die Frage, ob denn auch das Sphäroid die Messungen ausreichend darstelle, wurde nur erst schüchtern von einzelnen aufgeworfen. So hatte sich z. B. bei La Caille, der 1751 eine Gradmessung im Kaplande ausführte, die Überzeugung festgesetzt, daß die Krümmungsverhältnisse der nördlichen und südlichen Halbkugel unter gleicher geographischer Breite verschieden sein müßten, wozu freilich die ihm unbekannt gebliebene Lokalanziehung mitwirkte. Die zunächst folgenden Gradmessungen waren diejenigen von Boscovich und Maire (1750; Kirchenstaat), Mason und Dixon (1765; Pennsylvanien), Liesganig (1770; Ostalpen und Westungarn), Beccaria und Canonica (1774; Piemont); im kleinen Maßstabe hatte auch Chr. Mayers Basismessung (1763; Rheinpfalz) ihre Verdienste. Doch mußten alle diese Arbeiten in den Hintergrund treten, als von 1791 an jene großartige französische Gradmessung das allgemeine Interesse zu beherrschen anfang, zu welcher ein von der Nationalversammlung niedergesetzter, aus den ersten Gelehrten ihres Zeitalters bestehender Ausschuß den Anstoß gegeben hatte. Man wollte den durch Paris gehenden Meridian vollkommen genau messen und ein Zehnmilliontel des Quadranten zur Maßeinheit erheben. Méchain, Delambre, Biot und Arago dehnten den gemessenen Meridianbogen nördlich bis zur belgischen Grenze, südlich bis zu den Balearen aus, und erst im Jahre 1808 konnte das gigantische Messungsgeschäft als abgeschlossen

gelten. Man weiß, daß der neuen Maßeinheit der Name Meter beigelegt, und daß ein strenge systematisches System des Maß-, Gewicht- und Münzwesens, das sich durchaus der Zehnzahl anpaßte, gleichzeitig ins Leben gerufen wurde. Diesen Vorzügen gegenüber wollte es wenig besagen, daß der ursprüngliche Plan, das Meter als ein unmittelbar den Dimensionen des Erdsphäroides angepaßtes Naturmaß einzuführen, sich als eine Chimäre herausstellte. Bereits 1824 wies Beßel eine Reihe von Berechnungsfehlern nach, allein das genial erdachte System hatte sich damals schon so fest eingebürgert, daß niemand mehr daran dachte, es wegen einer nicht ganz vollständigen Übereinstimmung seines Grundmaßes mit einem Bruchteile des Pariser Meridianquadranten zu verwerfen. Mit Ausnahme Großbritanniens haben sämtliche Länder Europas, wenigstens dem Prinzipie nach, die glückliche Er rungenschaft der französischen Revolution sich angeeignet.

Die zahlreichen Gradmessungen, welche die erste Hälfte des XIX. Jahrhunderts brachte, können hier nicht besonders namhaft gemacht werden; als für Deutschland hervorragend wichtig seien nur die beiden angeführt, welche unter der Oberleitung von Gauß während der zwanziger Jahre und unter derjenigen von Beßel während der dreißiger Jahre ins Werk gesetzt wurden; Schauplatz der ersteren war das Königreich Hannover, der der zweiten die Provinz Ostpreußen. Und Beßel war es auch, der zuerst wieder eine große theoretische Untersuchung in Angriff nahm. Alle diejenigen Gradmessungen heranziehend, die er als gleichwertig anzuerkennen in der Lage war, berechnete er unter ausgiebigster Anwendung der Methode der kleinsten Quadrate diejenigen Werte für die Halbachsen, welche zur Zeit als die wahrscheinlichsten anzuerkennen waren. Beßels Zahlen sind:

$$a = 6377,397 \text{ km}; b = 6356,079 \text{ km}; a = 1 : 299,2.$$

Das Vertrauen, welches man in diese Werte setzte, war ein so großes, daß es sich bis zu unseren Tagen ungeschwächt erhalten hat, und noch heute geht man bei der Behandlung von Fragen der höheren Geodäsie vielfach vom „Beßelschen Erdsphäroide“ aus.

Schon während des XVIII. Jahrhunderts war neben den Bestrebungen, durch Gradmessungen eine endgültige

Aufklärung über Gestalt und Größe des Erdkörpers zu erzielen, eine andere Reihe von Arbeiten hergegangen, durch welche der gleiche Zweck mit sehr verschieden gearteten Hilfsmitteln, nämlich mit physikalischen, erreicht werden sollte. Es handelte sich eben darum, die Gedanken von Huygens und Newton, deren oben nur vorübergehende Erwähnung getan werden konnte, weiter auszubilden, und auf diese Weise entstand allmählich eine ganz neue, selbständige Theorie der Erdgestalt als Unterabteilung der allgemeinen Mechanik. Hierauf soll später in einem eigenen Abschnitte eingegangen werden. Für jetzt verzichten wir auf die Weiterführung des Berichtes über die Gradmessungen, indem wir nur kurz noch der Versuche gedenken, die Erdoberfläche als Fläche eines dreiachsigen Ellipsoides darzustellen.

Ein solcher Körper ist nicht durch Rotation entstanden, und insofern hätte gegen diese Annahme also von denjenigen protestiert werden können, die mit Huygens dafür halten, daß die Abplattung nur die Folge der Rotation eines ursprünglich kugelförmigen, in weichem Zustande befindlichen Körpers sei. Es war aber schon damals, als diese Frage spruchreif wurde, von Jacobi der Nachweis erbracht worden, daß eine Flüssigkeitsmasse, die in Rotation begriffen ist, nicht notwendig ein zweiachsiges Ellipsoid sein muß, daß vielmehr auch das dreiachsige, falls seine Achsen nur gewissen Bedingungen genügen, den Anforderungen genügt, die an eine Gleichgewichtsfigur zu stellen sind. Th. Schubert und A. R. Clarke haben sich die Mühe gegeben, die vorhandenen Gradmessungsergebnisse der Hypothese eines dreiachsigen Ellipsoides anzupassen, ohne daß dadurch ein anderer als vorübergehender Erfolg erreicht worden wäre. Es stellte sich nämlich heraus, daß diese Annäherung vor derjenigen, die schon Beßels Rotationsellipsoid ergab, keine wirklich durchschlagenden Vorzüge besaß, und da in den letzten Jahrzehnten das Problem der Erdgestalt ohnehin eine sein Wesen von Grund aus verändernde Fassung erfuhr, so eignet heute den überaus mühsamen Rechnungen



der beiden oben genannten Mathematiker nur noch geschichtlicher Wert.

Um die Mitte des XIX. Jahrhunderts, so können wir uns zusammenfassend ausdrücken, galt die geometrische Oberfläche allseitig als ein Umdrehungs-ellipsoid, dessen Rotationsachse die beiden Pole verbindet. In der Mehrzahl der praktischen Fälle, darüber war ebenfalls kein Zweifel, war es gestattet, das Sphäroid durch eine Kugel zu ersetzen, und nur der zweckmäßigste Radius dieser Kugel konnte das Objekt einer besonderen Fragestellung bilden. Um 1790 regte Zallinger zum Thurn an, diesen Radius so zu wählen, daß die Oberfläche der Kugel derjenigen des Sphäroides gleich gesetzt werde; andere schlugen vor, den Halbmesser gleich dem arithmetischen Mittel aus beiden Halbachsen zu nehmen. Gegenwärtig läßt man als Ersatz des Ellipsoides, dessen Meridianellipse die Halbachsen  $a$  und  $b$  hat, diejenige Kugel vom Radius  $R$  gelten, welche jenem an Volumen gleich ist. Demgemäß wird

$$\frac{4}{3} R^3 \pi = \frac{4}{3} a^2 b \pi, \quad R = \sqrt[3]{a^2 b}.$$

Setzt man  $R = 6370$  km, so hat man einen für gewöhnlich durchaus genügenden Wert. Der Umfang eines größten Kreises der Erdkugel berechnet sich, allerdings mit einer minimalen Vernachlässigung, zu 40 000 km, und für einen Äquator- oder Meridiangrad erhält man eine Größe von  $40\,000 : 360 = 111,111$  km. Die alte Rechnungsweise, der zufolge ein Hauptkreis eine Länge von 5400, der 360. Teil eines Hauptkreises eine Länge von 15 geographischen Meilen hat, wird sich nicht minder stets einen gewissen Gültigkeitskreis bewahren.

Da, wie sich soeben zeigte, die Beibehaltung der Lehre von der Kugelgestalt der Erde auch jetzt noch gestattet ist, obgleich man weiß, welches der wahre Sachverhalt wäre, so kann man sich natürlich auch die Frage vorlegen, ob denn nicht die Bestimmung von  $R$  ohne Mithilfe astronomischer Beobachtungen, also rein terrestrisch erfolgen könnte. Es fehlt nicht an einschlägigen Methoden, die von Ghetaldi, Maurolycus, Clavius, Kepler, Riccioli u. a. ausgedacht worden sind und an und für sich auch eines gewissen, theoretischen Interesses nicht entbehren, eigentlicher Anwendung aber nicht fähig sind. Vielleicht die meiste Beachtung verdient das viel erörterte Verfahren, welches auf der Messung der Depression des Horizontes beruht. Von einem Höhenpunkte  $B$  (Bergspitze, Luftballon) aus (Fig. 31) überblickt man eine um so größere Kalotte der Erdkugel, je größer der Abstand  $BA = h$  von der Erdoberfläche ist. Eine in  $B$  senkrecht zu  $BA$  gelegte Ebene  $HH'$  repräsentiert den Horizont von  $B$ , und wenn man endlich noch aus  $B$  als Spitze an die Erdkugel den Tangentialkegel legt, dessen Seitenlinie  $BC$  in die Zeichnungsebene fällt, so ist  $\sphericalangle HBC = \alpha$  die Depression des Horizontes, in der seemännischen Sprache die Kimmtiefe. Der Radius  $CM = R$  steht in  $C$  auf  $BC$  senkrecht, und im rechtwinkligen Dreieck  $BCM$  ist  $\sphericalangle BMC = \alpha$ . Folglich bestehen diese Beziehungen:

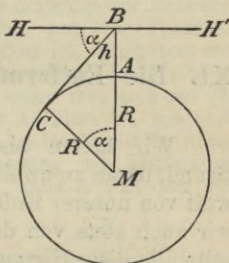


Fig. 31.

$$\frac{R}{R+h} = \cos \alpha, \quad R = \frac{h \cos \alpha}{1 - \cos \alpha} = \frac{h \cos \alpha}{2 \sin^2 \frac{1}{2} \alpha}.$$

Der eigentlich gefährliche Feind, der sich der Nutzbarmachung dieser Formel entgegenstellt, ist wieder die Refraktion, welche jede genauere Bestimmung des Winkels  $\alpha$  verhindert.

Nicht unerwähnt darf ferner auch die Tatsache bleiben, daß man aus dem von Dufour und Forel (s. o.) geführten Erfahrungsbeweise für die sphärische Krümmung einer Wasseroberfläche eine Berechnungsweise für  $R$  herleiten kann. Das hat

Dufour selbst schon bemerkt, aber eine für die Praxis innerhalb gewisser Grenzen brauchbare Gestalt verlieh der Methode erst etwas später Groll. An ihrer Hand kann man eine zur Berechnung von  $R$  dienliche Formel aufstellen, sobald durch Messung ermittelt ist, um wieviel der vertikale Sonnendurchmesser infolge der Spiegelung verkürzt ward. Diese Verkürzung nimmt, wenn die Sonne höher steht, eine immerhin meßbare Größe an. Jedenfalls wäre es erfreulich, wenn eine Reihe von Messungen dieser Art ausgeführt und zur Ermittlung des Erdhalbmessers nach der Groll'schen Formel angewendet würde.

---

## XI. Die Entfernung der Himmelskörper von der Erde.

Wir hatten bis zu diesem Augenblicke keinen Grund, daran zu zweifeln, daß sämtliche Gestirne gleichweit von unserer Erde entfernt seien, und deshalb haben wir auch stets von der Himmelskugel, an deren Innenseite alle diese Himmelskörper gewissermaßen angeheftet zu denken sind, wie von einer selbstverständlichen Sache gesprochen. Nur als davon die Rede war, daß die geographische Länge durch Mondstrecken bestimmt werden könne, konnten wir nicht umhin, zu bemerken, daß der Anblick des gestirnten Himmels, von der Erdoberfläche aus betrachtet, verschieden sei von demjenigen, den ein im Mittelpunkte der Erde befindlicher Beobachter haben würde. Wenn dem aber so ist, so läßt sich die Vermutung nicht mehr abweisen, daß die Entfernung der einzelnen Weltkörper von der Erde nicht durchweg die gleiche sein kann. Die Astronomie war bereits im Altertum zu dieser Erkenntnis durchgedrungen, und zwar war es immer eine



charakteristische, wiewohl unter verschiedenen äußeren Formen auftretende Winkelgröße, welche das Verständnis der wirklich obschwebenden Verhältnisse ermöglichte, nämlich der parallaktische Winkel. Jedes ausgedehnte Objekt  $A_1A_2$ , welches von einem gewissen Punkte B aus betrachtet wird, hat eine Parallaxe, und zwar bezeichnen wir mit diesem Namen den Gesichtswinkel, unter welchem einem in B befindlichen Auge der Gegenstand  $A_1A_2$  erscheint.

Wäre der Radius der scheinbaren Himmelskugel unendlich groß, so würde ihm gegenüber derjenige der Erdkugel zu einem Punkte zusammenschrumpfen, und eine Parallaxe wäre nicht vorhanden. In Wahrheit aber ist, wenigstens den Planeten gegenüber, eine solche nachweisbar; die Fixsterne freilich sind so weit entfernt, daß, wenn man sich auf die Erde selbst beschränkt, ihre Parallaxe zu klein ist, um noch der Messung zu unterliegen. Das Auskunftsmitglied, durch dessen Anwendung auch die Bestimmung der Entfernung dieser Gestirne möglich gemacht wird, kann erst in dem von der Bewegung der Erde handelnden Abschnitte zur Sprache kommen.

M (Fig. 32) sei der Erdmittelpunkt, S ein Stern, der infolge der täglichen Bewegung einen Kreis vom Halbmesser MS um die Erde beschreibt. Verbindet man S mit einem beliebigen Punkte der Erdoberfläche A und A mit M, so ist  $\sphericalangle ASM = \pi'$  unserer Definition

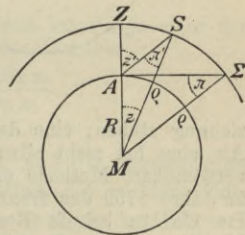


Fig. 32.

zufolge die Parallaxe des Sternes. Dieselbe wechselt ihren Wert unaufhörlich; kommt der Stern zufällig in den Scheitelpunkt, so ist die Zenitalparallaxe gleich Null, während die Horizontalparallaxe  $\sphericalangle ASM = \pi$  den Maximalwert darstellt. Setzen wir  $\sphericalangle SMA = z$ ,

$\sphericalangle SAZ = z'$ ,  $MS = \varrho$ , so folgt aus dem Sinussatze im Dreieck AMS

$$\varrho : R = \sin z' : \sin \pi', \quad \sin \pi' = \frac{R}{\varrho} \sin z',$$

während die geozentrische Zenitdistanz  $z = z' - \pi'$  ist. Im Augenblicke des Aufganges, wenn  $S'$  den Ort des Sternes im Horizonte vorstellt, ist  $z' = 90^\circ$ , also  $\sin \pi = R : \varrho$ .

Man ersieht hieraus, daß die Parallaxe eines Gestirnes und seine absolute Erddistanz in engster gegenseitiger Be-

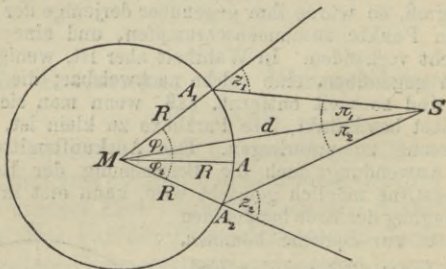


Fig. 33.

ziehung stehen; eine der beiden Größen bedingt die andere. Als eine bei nicht allzu großen Werten dieser Distanz sehr verwendbare Methode empfiehlt sich die folgende, die u. a. im Jahre 1759 den französischen Astronomen La Lande und La Caille behufs Bestimmung der Marsparallaxe diente. M (Fig. 33) hat die frühere Bedeutung, und S ist der Stern, für den die Entfernung  $MS = d$  ermittelt werden soll. Unsere Figur soll dem Momente der Kulmination des Sternes entsprechen, so daß also der in der Papierebene liegende Kreis mit dem Meridiane zusammenfällt, auf dem die beiden Orte  $A_1$  und  $A_2$  liegen. Je größer der Meridianbogen  $A_1A_2$  ist, um so zuverlässiger wird das Ergebnis; in dem soeben angeführten Falle war La Lande in Berlin, La Caille in der Kaiserstadt stationiert. Wenn MA der Äquator ist, so erkennen

wir in  $\varphi_1 = \sphericalangle A M A_1$  die nördliche Breite von  $A_1$ , in  $\varphi_2 = \sphericalangle A M A_2$  die südliche Breite von  $A_2$ . Im Augenblicke des Meridiandurchganges werden in  $A_1$  und  $A_2$  die Zenitdistanzen des kulminierenden Sternes gemessen, und es sind alsdann deren beide Supplementwinkel bekannt. Im Viereck  $M A_1 S A_2$  kennt man jetzt zwei Seiten und drei Winkel, nämlich  $M A_1 = M A_2 = R$ ,  $\sphericalangle M A_1 S = 180^\circ - z_1$ ,  $\sphericalangle M A_2 S = 180^\circ - z_2$ ,  $\sphericalangle A_1 S A_2 = z_1 + z_2 - (\varphi_1 + \varphi_2)$ . Damit ist das Viereck und insbesondere die gesuchte Diagonale  $M S = d$  konstruierbar.

Die Rechnung gestaltet sich am elegantesten, wenn man die beiden Parallaxen einführt und  $\sphericalangle M S A_1 = \pi_1$ ,  $\sphericalangle M S A_2 = \pi_2$  setzt. Es bestehen dann, wie wir wissen, die Proportionen  $R : d = \sin \pi_1 : \sin z_1 = \sin \pi_2 : \sin z_2$ , und daraus folgt, indem man jeweils zu 1 addiert und von 1 subtrahiert,  $(\sin \pi_1 + \sin \pi_2) : (\sin \pi_1 - \sin \pi_2) = (\sin z_1 + \sin z_2) : (\sin z_1 - \sin z_2)$ . Geht man allenthalben zu der für die logarithmische Rechnung geschickten Form über, so wird

$$\operatorname{tang} \frac{1}{2} (\pi_1 - \pi_2) = \frac{\operatorname{tang} \frac{1}{2} (z_1 - z_2)}{\operatorname{tang} \frac{1}{2} (z_1 + z_2)} \operatorname{tang} \frac{1}{2} (z_1 + z_2 - \varphi_1 - \varphi_2).$$

$\pi_1$  und  $\pi_2$  sind damit gegeben, und nun kann  $d$  je einer der beiden sich gegenseitig kontrollierenden Formeln

$$d = \frac{R \sin z_1}{\sin \pi_1} = \frac{R \sin z_2}{\sin \pi_2}$$

entnommen werden.

Wir werden später erfahren, daß die sogenannten Keplerschen Gesetze dazu verhelfen, die mittlere Entfernung eines um die Sonne sich bewegenden Körpers mühelos zu erhalten, wenn zwei Größen bekannt sind, nämlich die Umlaufsdauer und die Entfernung der Erde von der Sonne. Diese letztere Strecke ist die metrische Fundamenteleinheit der Astronomie; auf sie werden alle Distanzen im Weltraume zurückgeführt. So ist es denn von besonderer Wichtigkeit, ihren Wert durch andere uns geläufige Längenmaße



auszudrücken, und aus diesem Grunde ist seit den ältesten Zeiten das Problem der Sonnenparallaxe niemals von der wissenschaftlichen Tagesordnung verschwunden. Von den vier Methoden, die wir nachstehend vorführen, können nur die dritte und vierte eine aktuelle Bedeutung beanspruchen; gleichwohl verdienen auch die beiden älteren einige Aufmerksamkeit, indem sie dartun, daß richtige Gedanken allein noch nicht zu einer Hebung der großen Schwierigkeiten ausreichen, mit denen gerade dieses Problem in ungewöhnlich hohem Maße behaftet ist.

I. Methode des Aristarch. Um 250 v. Chr. erinnerte der Samier Aristarch daran, daß, wenn der Mond genau im ersten Viertel steht, in dem rechtwinkligen Dreieck Sonnenmittelpunkt-Mondmittelpunkt-Erde der Winkel am Monde ein rechter ist. Würde man also in diesem Augenblicke den Winkel  $\alpha$  an der Erde messen, so brauchte man nur mit dessen Cosinus in die Distanz Mond-Erde zu dividieren, um die Distanz Sonne-Erde zu erhalten. So unangreifbar dieser Satz auch ist, so wenig läßt sich der Plan verwirklichen, weil der in Rede stehende Zeitpunkt nicht genau erkennbar ist. Immerhin vermochte man auf diese Art herauszubringen, daß die Sonne von der Erde sehr viel weiter als der Mond entfernt sein müsse.

II. Methode des Hipparch. Etwas über hundert Jahre nach Aristarch fand der größte Astronom des Altertums einen wichtigen Lehrsatz auf. Wenn  $H$  die Horizontalparallaxe der Sonne,  $\pi$  diejenige des Mondes,  $r$  den scheinbaren Sonnendurchmesser und  $\gamma$  die Hälfte des Bogens bedeutet, den bei einer Mondfinsternis unser Trabant innerhalb des Schattenkegels der Erde zurücklegt, so ist  $H + \pi = r + \gamma$ . E (Fig. 34) ist der Mittelpunkt der Erde, S derjenige der Sonne, N die Spitze des Schattenkegels, d. h. derjenige Punkt, in dem sich alle äußeren gemeinsamen Tangenten der Sonnen- und Erdkugel vereinigen. Bei  $M_1$  tritt der Mond in den Schattenkegel ein, und bei  $M_2$  verläßt er ihn, so daß  $\text{arc } M_1 M_2 = 2\gamma$  wird. S, E und N liegen in einer geraden Linie, und ein gleiches gilt, wenn A und B Berührungspunkte sind, für A, B

und N. Man zieht  $AE$  und  $M_1E$ ; dann ist offenbar  $\sphericalangle EAB + \sphericalangle EM_1B = \sphericalangle SEA + \sphericalangle M_1EN = 180^\circ - \sphericalangle AEM_1$ . Da  $\sphericalangle EAB = \Pi$ ,  $\sphericalangle EM_1B = \pi$ ,  $\sphericalangle SEA = r$  und  $\sphericalangle M_1EN = \gamma$  ist, so ergibt sich ohne weiteres die Richtigkeit obigen Lehrsatzes. Hipparch bestimmte die Mondparallaxe direkt und fand, mit der Wahrheit ganz leidlich übereinstimmend, die Entfernung des Mondes von der Erde gleich 59 Erdhalbmessern; sein Theorem lieferte für die Erddistanz der Sonne den Wert von 1200 Erdhalbmessern. Auch das ist freilich noch sehr viel zu klein, und zwar wesentlich deshalb, weil an eine scharfe Bestimmung des Bogens  $\gamma$  gar nicht gedacht werden kann.

III. Methode der Planetendurchgänge. Als sich Halley 1677 auf der Insel St. Helena aufhielt, um eine Sternkarte des Südhimmels zu entwerfen, hatte er Gelegenheit,

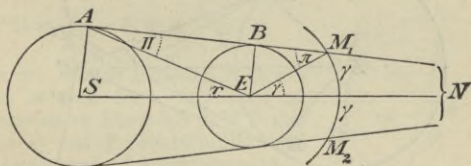


Fig. 34.

einen Merkurdurchgang, d. h. einen Vorübergang dieses Planeten vor der Sonne, zu beobachten, auf welche sich der Planet als dunkles Scheibchen projizierte. Sofort erkannte er, daß eine solche Erscheinung für die Bestimmung der astronomischen Maßeinheit verwertet werden könne, daß aber ein Venusdurchgang, weil der Planet Venus uns weit näher ist, noch größere Vorteile gewähren müsse. Seine Rechnungen zeigten ihm, daß ein solches Ereignis in den Jahren 1761 und 1769 eintreten werde, und da er selbst keine Aussicht hatte, dies zu erleben, so forderte er die Astronomen der Zukunft auf, eine so günstige Gelegenheit nicht ungenützt vorübergehen zu lassen. Sein Rat wurde befolgt, und sowohl in den beiden vorgenannten Jahren, wie auch 1874 und 1882 sandten alle Kulturstaaten ihre Fachmänner nach den entlegensten Gegenden aus, wenn dieselben für die Beobachtung vorteilhaft gelegen schienen.

Ein Überblick über das Wesen dieser Methode läßt sich nach R. Wolf etwa in folgender Weise vermitteln. E (Fig. 35) ist das Erdzentrum; V der Ort der Venus in dem Augenblicke, in dem sie sich aus E derart in C auf die Sonnenscheibe projiziert, daß sie von beiden Rändern gleichweit entfernt ist; A und B sind zwei zur Linie E V C symmetrisch gelegene Erdorte in der durch EC und einen darauf senkrecht stehenden Sonnendurchmesser bestimmten Ebene; die Geraden AV und BV treffen verlängert die Sonne in den von C gleichweit abstehenden Punkten D und F. Nunmehr ist, wenn man die früher gebrauchte Bezeichnung beibehält,  $\sphericalangle ACE = \sphericalangle BCE = \Pi$ ,

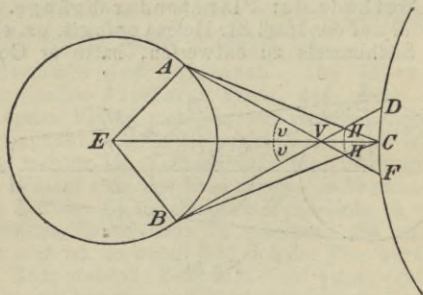


Fig. 35.

$\sphericalangle AVE = \sphericalangle BVE$  gleich der Venusparallaxe  $v$ ,  $\sphericalangle VAC = \sphericalangle VBC = v - \Pi$ . Das ebene Dreieck ACV liefert, bei zweimaliger Anwendung des Sinussatzes, die Proportionen  $\sin(v - \Pi) : \sin v = CV : AC$ ,  $\sin(v - \Pi) : \sin \Pi = CV : AV$ , und dafür darf, da bei so kleinen Winkeln der Sinus den Bogen ersetzen und weiterhin AC durch CE, AV durch EV vertreten werden kann, auch geschrieben werden:

$$(v - \Pi) : v = CV : CE, (v - \pi) : \Pi = CV : EV.$$

Das Verhältnis CV : EV oder CV : CE kann erwähntermaßen, wegen der Keplerschen Gesetze, als bekannt angenommen werden; der Winkel  $(v - \Pi)$  andererseits hat denselben Wert, wie der Bogen CF oder CD. Wenn also diese letztere Winkelgröße ermittelt werden könnte, so würden



unsere beiden Proportionen sowohl  $v$  als  $II$  zu berechnen gestatten.

Das kann aber leicht geschehen, auch wenn die beiden Punkte  $D$  und  $F$  nicht, wie in Fig. 35 angenommen war, gleichweit von  $C$  entfernt sind, sondern so liegen, wie dies Fig. 36 ersehen läßt.  $D$  und  $F$  sind bezüglich die Mittelpunkte der Sehnen, welche der durch die Sonnenscheibe gehende Planet auf jener beschreibt, und die hier durch  $PQ$  und  $RS$  wiedergegeben sind. Bei der Kleinheit dieser Wege sind sie so gut wie geradlinig. Die Venusbahn hat den bekannten Umfang  $u$ ; mittels genauer Uhren war festgestellt worden, welche Zeiten  $t_1$  und  $t_2$  der Planet brauchte, um die Strecken  $PQ = 2PD$  und  $RS = 2RF$  zurückzulegen, und es ist somit, wenn noch  $T$  die Umlaufdauer vorstellt,

$$PD = \frac{t_1 u}{2T}, \quad RF = \frac{t_2 u}{2T}.$$

Werden die Radien  $PM$  und  $RM = r$  gezogen, so sind die — als eben zu betrachtenden — Dreiecke  $DMP$  und  $FMR$  in  $D$  und  $F$  rechtwinklig, und der pythagoreische Lehrsatz ergibt

$$DF = \sqrt{r^2 - \frac{t_1^2 u^2}{4T^2}} + \sqrt{r^2 - \frac{t_2^2 u^2}{4T^2}}.$$

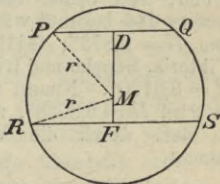


Fig. 36.

Demgemäß sind  $v$  und  $II$  durch lauter teils von vornherein bekannte, teils im konkreten Falle meßbare Größen ausgedrückt.

Ein unermessliches Rechnungswerk ist daran gesetzt worden, um aus den vier Vorübergängen der Venus, für die mehr oder minder gute Beobachtungen vorliegen, möglichst zuverlässige Werte der Sonnenparallaxe abzuleiten. Die beiden Vorkommnisse von 1761 und 1769 verarbeiteten hauptsächlich Encke und Powalky, welcher letzterer  $II = 8,832''$  setzte. Die Durchgänge des XIX. Jahrhunderts wurden von Hansen, Puiseux, Auwers, Harkneß u. a. zum Gegenstande eingehender Untersuchung gemacht, und Auwers folgerte aus dem gesamten Materiale, daß  $II$  den Wert  $8,880''$  habe. Zum ersten Male bot 1882 auch die Astrophotographie ihre Dienste an, und aus der Ausmessung zahl-

reicher photographischer Platten folgte  $\Pi = 8,881''$ , was sich fast genau mit dem Auwersschen Resultate deckt. Die mittlere Sonnendistanz darf sonach ohne beträchtlichen Fehler auf 150 000 000 Kilometer oder 20 000 000 geographische Meilen veranschlagt werden.

IV. Die Methode der Zurückführung der Sonnendistanz auf Planetendistanzen. Schon die oben erwähnten Bemühungen um die Marsparallaxe hatten den Zweck, aus letzterer die Sonnenparallaxe zu erschließen, indem eben die Keplerschen Gesetze die Beziehung zwischen beiden Winkelgrößen herstellten. Gerling und Gilliß nahmen die Venus, Winnecke und Stone wiederum den Mars zu Hilfe; seit 1873 aber traten, auf Galles Anregung hin, die kleinen Planeten (Planetoiden, Asteroiden) in den Vordergrund, von denen beim Anbruche des XX. Jahrhunderts bereits 444 bekannt waren. Beobachtungen der Flora ergaben ihm  $\Pi = 8,873''$ ; Gill dagegen fand, je nachdem er von Viktoria, Sappho und Iris ausging,  $\Pi = 8,8013''$ ,  $\Pi = 8,7981''$ ,  $\Pi = 8,8120''$ . Nimmt man aus diesen drei Zahlen das Mittel, so wird  $\Pi = 8,8038''$ , was wenigstens in der ersten Dezimale zu dem durch die Venusdurchgänge gewonnenen Werte stimmt.

Sobald man von einem Gestirne, das nicht — wie sämtliche Fixsterne — im Fernrohre bloß als dimensionsloser Lichtpunkt erscheint, die Erddistanz  $d$  oder die Parallaxe  $\pi$  kennt, während zugleich der scheinbare Halbmesser  $r$  gemessen werden kann, ist auch der wahre Halbmesser  $\rho$  des kugelförmigen Himmelskörpers bekannt. Es ist nämlich  $\rho = d \sin r$ . Die Messung von  $\rho$  wird fast immer am Heliometer bewerkstelligt, dessen Erfindung, wie wir erfuhren, größtenteils durch ebendieses Bedürfnis hervorgerufen worden ist. Was die oben genannten Planetoiden anlangt, so entziehen sich ihre scheinbaren Halbmesser der direkten heliometrischen Bestimmung, und man ist deshalb, wenn man ihre wirklichen Größen ermitteln will, auf das photometrische Näherungsverfahren

Stampfers angewiesen, welches allerdings die nicht strenge zu erweisende Voraussetzung zu grunde legt, daß alle diese Weltkörperchen mit gleichem Glanze leuchten.

Durch die Erörterungen dieses Abschnittes ist nun vollständig aufgeklärt, was es mit dem paralaktischen Fehler auf sich hat, von dem in gewissen Fällen, die im neunten Abschnitte besprochen wurden, die Rede sein mußte. Aber noch von einem anderen Fehler, den wir schon da und dort zu berühren hatten, müssen alle astronomischen Beobachtungen, sie müßten sich denn auf das Zenit beschränken, rechnerisch befreit werden. Derselbe entspringt aus der Strahlenbrechung oder Refraktion, welche — je nach der Lage des seine Strahlen in unser Auge sendenden Objektes — eine astronomische oder terrestrische sein kann. Man weiß, daß ein Lichtstrahl, sobald er in ein Medium von anderer Dichte übertritt, eine Ablenkung von seinem Wege erfährt, und da in der Atmosphäre die Dichteverhältnisse stetig wechseln, so liegt es nahe, zu vermuten, daß die Refraktionskurve, in welche der ursprünglich geradlinige Lichtstrahl beim Passieren der Lufthülle übergeht, eine doppelt gekrümmte Linie werden muß. Tatsächlich kommt auch hier und da in der Nähe des Horizontes eine seitliche Verschiebung vor; gemeinlich aber hat man ein Recht, von dieser Lateralrefraktion abzu- sehen und daran festzuhalten, daß der gekrümmte Lichtstrahl aus der Ebene, welche durch den Gegenstand, den Standort des Beobachters und den Erdmittelpunkt bestimmt ist, nicht heraustritt. Diese Ebene soll in der nun folgenden Darstellung mit der Zeichnungsebene zusammenfallen.



M (Fig. 37) sei der Mittelpunkt der Erde und zugleich aller der kugelförmigen Schichten, in welche wir uns der Einfachheit halber die Atmosphäre zerlegt denken. Im Inneren einer jeden Schicht soll die Zusammensetzung die gleiche sein; durch diese Anordnung wird freilich der stetigen Dichteänderung im Inneren der Lufthülle eine sprungweise erfolgende substituiert, und auch an die Stelle der stetigen Refraktionskurve tritt eine gebrochene Linie; allein wenn man nur die Mächtigkeit jeder einzelnen Schicht gering genug annimmt, nähern sich die Verhältnisse, wie wir sie

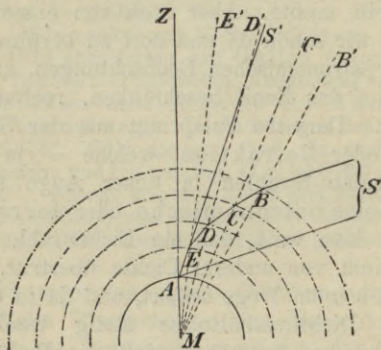


Fig. 37.

hier auffassen, denen der Wirklichkeit beliebig. Was die Berechnung selbst betrifft, so besteht für sie das von Snellius und Descartes gefundene Gesetz: Der Strahl wird beim Übergange aus einem minder dichten in ein dichteres Mittel auf das Einfallslot zu gebrochen, und der Sinus des Einfallswinkels steht zu dem Sinus des Brechungswinkels in einem für dieselben beiden Medien konstanten Verhältnis, welches Brechungsindex oder Brechungsexponent genannt wird. Unsere Figur setzt vier Schichten voraus, so daß also der von einem Sterne S kommende Lichtstrahl vier Ablenkungen erfährt, ehe er den in A befindlichen Beobachter, dessen Scheitelpunkt Z ist, erreicht. Der Weg SB ist geradlinig; in B wird der Strahl gegen das Einfallslot MB' hin ge-

brochen und legt nunmehr die geradlinige Wegstrecke BC zurück. Weiterhin sollen  $MC'$ ,  $MD'$ ,  $ME'$  die Einfallslote sein, und der Lichtstrahl macht nun die Wege CD, DE, EA, bis er an seinem Ziele angekommen ist. Wir dürfen, weil S ein Stern sein soll, die von A nach S gezogene Linie als parallel zu BS annehmen, und es ist mithin  $\sphericalangle$  SAZ die wahre Zenitdistanz des Sternes, wie sie gemessen würde, wenn es keine Strahlenbrechung gäbe. Das Auge in A dagegen verlegt S an jenen Punkt  $S'$  der Sphäre, der in der Verlängerung der Strecke AE gelegen ist, und  $S'$  liegt ersichtlich näher an Z, als S. Diese Tatsache erlaubt die folgende Formulierung: Durch die Refraktion werden die Zenitdistanzen verkleinert, die Höhen über dem Horizonte vergrößert.

Obwohl die griechischen Physiker recht wohl von der Lichtbrechung unterrichtet waren, machte sich doch erst gegen Ende des XV. Jahrhunderts B. Walther, der Freund und Schüler Regiomontans, die Bedeutung dieses Phänomens auch für die astronomische Beobachtung klar. Praktisch ging jedoch erst Tycho Brahe vor, der die erste Refraktions-tafel ausarbeitete; zwar lief bei ihm noch der Irrtum mit unter, daß die Lichtablenkung für Zenitdistanzen  $< 45^\circ$  unmerkbar sei, aber im übrigen kennzeichnet sein Vorgehen doch einen entschiedenen Fortschritt in der Beobachtungskunst. Eine wissenschaftliche Theorie der Refraktion konnte erst nach Bekanntwerden des Brechungsgesetzes ausgebildet werden, und die wichtige Ergänzung des geometrischen Besitzstandes, daß die Ablenkung bei Abnahme der Temperatur und bei Zunahme des Luftdruckes größer wird, fügte um 1700 D. Cassini hinzu. In dem nun beginnenden Jahrhundert bildeten Bradley, der ältere Tobias Mayer und Lambert die Lehre von der Strahlenbrechung nach jeder Hinsicht theoretisch und empirisch fort, und späterhin haben Kramp, Beßel, Gylden, Bruns und v. Bauernfeind ihr diejenige Gestalt gegeben, in welcher sie jetzt in den astronomischen Handbüchern erscheint. Ihre Formeln gewähren die Möglichkeit, aus jeder gemessenen astronomischen Koordinate, in welcher sich der Einfluß der Strahlenbrechung geltend machen kann, unter Berücksichtigung des Thermometer- und Barometerstandes den wahren Wert dieses Bogens herzuleiten.

---

## XII. Die Weltsysteme.

Für den denkenden Geist, der sich nicht damit begnügt, die Erscheinungen als solche hinzunehmen und nächstliegende Folgerungen aus ihnen zu ziehen, erwuchs schon frühe die Notwendigkeit, die Gesamtheit dieser Erscheinungen in einem sogenannten Weltsysteme zusammenzufassen, durch welches von allen Einzelheiten, die sonst unvermittelt nebeneinander standen, kausale Rechenschaft gegeben werden konnte. Diesem Zwange des Kausalitätsbedürfnisses suchten bereits die ionischen Philosophen bis zu einem gewissen Grade gerecht zu werden; ernsteren wissenschaftlichen Ansprüchen jedoch war man erst dann zu genügen imstande, als auch die mathematischen Wissenschaften bis zu entsprechender Entwicklung fortgeschritten waren. Die Mitte des IV. vorchristlichen Jahrhunderts hat den ersten Versuch von höherer Tragweite erstehen sehen, und an ihn schlossen sich andere Versuche, die wir hier, soweit sie für die Wissenschaft irgend bedeutungsvoller geworden sind, chronologisch gruppieren wollen.

I. Das eudoxische Weltsystem. Eudoxus, ein Zeitgenosse Platons, ist der Urheber des Systems der konzentrischen Sphären. Jeder einzelne Planet — Sonne und Mond selbstverständlich mit inbegriffen — sollte mit einer gewissen Anzahl einander unendlich benachbarter, äußerst dünner Kugelschalen verbunden sein, deren jeder ein ganz bestimmter Bewegungszustand zugeteilt zu denken war. Auf den Planeten wirkten also, je nach Umständen, 2, 3 und auch 4 Bewegungsimpulse, die sich zu einer Resultierenden zusammensetzen mußten, und diesem Antriebe folgend, beschrieb ersterer eine gekrümmte Linie, von der Eudoxus zu beweisen unternahm, daß sie jene Anomalien der Planetenbewegung, die in unserem dritten Abschnitte kurz skizziert



wurden, ganz befriedigend darstelle. Die eine Schleife bildende Kurve hieß Hippopede. Neuerdings hat uns Schiaparelli die relative Berechtigung des eudoxischen Systemes erschlossen, welches nur in dem einen Punkte scheiterte, daß es für die wechselnde Größe der Sonnen- und Mondscheibe keine Erklärung zu geben vermochte.

II. Das ptolemäische Weltsystem. Um die Mitte des II. nachchristlichen Jahrhunderts begründete der Alexandriner Claudius Ptolemäus in seiner „*Μεγάλη Σύνταξις*“ — dem „Almagest“ der Araber und des späteren Mittelalters — das seinen Namen tragende System, welches vierzehnhundert Jahre lang fast ungeschwächt in Kraft verblieb und auch dann nur langsam und widerwillig von dem so lange behaupteten Posten wich. Ptolemäus steht als Systematiker groß da, obschon sich nicht leugnen läßt, daß die meisten Lehren, die er vorträgt, bereits von Hipparch (s. o.) in der Wissenschaft eingebürgert worden waren. Im Zentrum des Universums steht die absolut unbewegte Erdkugel, mit welcher acht andere Kugelschalen — Krystallsphären — gleichen Mittelpunkt haben. Es sind die Sphären des Mondes, des Merkur, der Venus, der Sonne, des Mars, des Juppiter, des Saturn und die achte Sphäre („*sphaera primi mobilis*“), an welcher die Fixsterne angeheftet sind. Die Reihenfolge bestimmte Ptolemäus in der Weise, daß derjenige Planet in größere Entfernung gerückt ward, der zu seinem Umlaufe, zur Rückkehr an den gleichen Punkt der Himmelskugel, die längere Zeit brauchte. Alle diese Sphären, so wurde angenommen, haben gleiche tägliche Bewegung, durch die sie im Laufe von 24 Stunden einmal um die Erde herumgeführt werden; außerdem aber eignet noch jedem Himmelskörper, von den Fixsternen abgesehen, eine besondere Bewegung, die ihren eigenen Gesetzen folgt. Von diesen letzteren werden wir im nächsten Abschnitte eingehender zu sprechen haben.

III. Das ägyptische Weltsystem. Eine gewisse Opposition machte sich doch schon in alter Zeit gegen die ptolemäische Theorie geltend. Bei dem spätrömischen Schriftsteller Marcianus Capella lesen wir von einer etwas abweichenden Anordnung, die — man weiß nicht recht, mit welcher Berechtigung — als das ägyptische System bezeichnet wird. Es weicht von dem vorigen nur insofern ab, als Merkur und Venus nicht direkt die Erde umkreisen, sondern

zunächst der Sonne als Trabanten beigegeben sind und erst mit dieser den Umlauf um die Erde vollziehen.

IV. Das tychonische Weltsystem. Nur graduell, nicht prinzipiell unterscheidet sich von dem sogenannten ägyptischen Systeme dasjenige Weltsystem, welches im Jahre 1587 der berühmte dänische Astronom Tycho Brahe (1546 bis 1601), den wir in Abschnitt VI als Förderer der Instrumentaltechnik kennen lernten, dem neuen copernicanischen Systeme entgegenstellte, welches ihn aber nicht allzulange überlebte. Aus sachlichen Gründen gehen wir hier von der bisher verfolgten historischen Reihenfolge ab. Nach Brahe gibt es nur zwei unmittelbare Begleiter der Erde, nämlich Mond und Sonne; letztere hinwiederum ist der Mittelpunkt für die von Merkur, Venus, Mars, Juppiter und Saturn beschriebenen Kreisbahnen.

Unentschieden ist, ob als eigentlicher Begründer dieser Auffassung Brahe selbst oder der Dithmarse Reymarus Ursus zu betrachten ist, der jenem die Priorität streitig machen wollte. Jedenfalls enthält das System des Ursus insofern eine Verbesserung, als er von der täglichen Umdrehung des Himmels Abstand nahm und diese Rotationsbewegung der Erde selber zuteilte. Und mit dieser Modifikation ist das tychonische System fast von allen den Astronomen angenommen worden, welche sich überhaupt auf dasselbe einzulassen bereit waren. Seit 1600 trat es mehr und mehr in den Hintergrund, und jetzt begann sich durchzusetzen

V. Das copernicanische Weltsystem. Daß schon einzelne Pythagoreer, so vorzugsweise Philolaus, der Erde ebenfalls eine Bewegung zugesprochen haben, ist nach den Forschungen von Boeckh und Henri Martin sehr wahrscheinlich. Auch sonst liegen antike Nachrichten über Hiketas und Seleukus vor, daß diese Männer den Wechsel von Tag und Nacht auf eine Achsendrehung der Erdkugel zurückzuführen versucht hätten. Der radikalste Vertreter einer von der üblichen weit abweichenden Weltanschauung war der uns aus dem vorigen Abschnitte bekannte Aristarchus, für dessen Denkweise ein Zeugnis des Archimedes vorliegt. Danach lehrte ersterer nicht nur die Achsendrehung der Erde, sondern ließ diese auch „in einem schiefen Kreise“ um die Sonne laufen. Als man ihm einwarf, diese Bewegung

müsse doch eine parallaktische Ortsveränderung (s. o.) der Fixsterne bewirken, erklärte er, der Sternenhimmel sei so weit entfernt, daß im Vergleiche mit dieser Entfernung der Radius der Erdbahn zu einem bloßen Punkte zusammenschumpfe. Einen ähnlichen Standpunkt nahm Heraklides Pontikus ein. Auch unter den Arabern fand Ptolemäus einzelne grundsätzliche Gegner, und vor allem äußerte im XIII. Jahrhundert der mit arabischer Wissenschaft vertraute König Alfons von Kastilien schwere Bedenken gegen die Komplikation, welche nach dem herrschenden Systeme in den himmlischen Beobachtungen obwalten sollte. Um 1450 stellte Nikolaus Krebs aus Cues an der Mosel (Cusanus) die These auf, die Erde sei nur ein Stern wie ein anderer und müßte deshalb auch mit einer gewissen Bewegung im Weltall, das unendlich und unbegrenzt sei, begabt gedacht werden — genau dieselbe Gedankenrichtung, in der sich mehr denn hundert Jahre später der kühne Philosoph Giordano Bruno bewegte. Doch alle diese Gelegenheitsaussprüche, denen man noch solche von Domenico Maria, Calcagnini u. a. zur Seitestellen könnte, entbehrten des nachhaltigen Erfolges. Ein solcher ward erst erreicht, als im Sterbejahre des großen Nikolaus Copernicus (1473 bis 1543) dessen bahnbrechendes Werk „De revolutionibus orbium cœlestium“ erschien.

Die Quintessenz dieses Werkes besteht in den beiden folgenden, eben das copernicanische System in sich schließenden Sätzen:

1) Die Erde besitzt eine tägliche Bewegung, kraft deren sie sich in 24<sup>h</sup> einmal um ihre Achse dreht, und zwar in der Richtung von West gegen Ost.

2) Die Erde besitzt eine jährliche Bewegung, indem sie je in  $365\frac{1}{4}^d$  einmal eine Kreisbahn um die Sonne beschreibt.

Ein dritter, von Copernicus selbst für gleich wichtig gehaltener Satz hat sich nicht bestätigt. Es sollte nämlich die Erde noch eine dritte Bewegungstendenz in sich tragen, durch welche ein steter Achsenparallelismus erhalten



bleiben sollte. Allein dessen bedarf es nicht, denn, wie Galilei erhärtet hat, bleibt die Drehungsachse eines zugleich mit Translationsbewegung begabten Körpers ganz von selbst immer in der gleichen Richtung.

Direkte Beweise für seine beiden Hauptsätze ließen sich zur Zeit des Copernicus noch nicht erbringen, und er empfand dies auch als einen empfindlichen Mißstand. Statt solcher mußte er sich mit Wahrscheinlichkeitsgründen behelfen; der wertvollste unter diesen soll uns im nächsten Abschnitte beschäftigen. Was aber das XVI. Jahrhundert noch nicht zu leisten befähigt war, das hat das XVII. und XVIII. reichlich nachgeholt, und heute fehlt es nicht an Beweismitteln der verschiedensten Art. Wir wollen diejenigen, denen ein höherer Wert, zumal in didaktischer Beziehung, beizumessen ist, nunmehr einer genaueren Betrachtung unterziehen.

Beweise für die Rotation.

I. Die Fallversuche. Wenn die Anticopernicaner die Hypothese von der Erdumdrehung in besonders witziger Weise zu widerlegen suchten, so sagten sie, ein von seinem Neste aufliegender Vogel werde beim Niedersteigen das Nest nicht mehr finden, weil es inzwischen unter ihm weggeglitten sei. Ein von der Spitze eines Turmes herabfallender Stein würde mithin, weil die Erdrotation von Westen gegen Osten gerichtet ist, hinter dem Fuße des Turmes auf dessen westlicher Seite niederfallen müssen. Diesen Schluß kehrten Galilei, Hooke und ganz besonders Newton um: Der fallende Stein eilt vor und fällt östlich vom Fuße des Turmes nieder. Denn setzen wir dessen Höhe =  $h$ , den Erdhalbmesser =  $R$ , so sind die Geschwindigkeiten, welche Spitze und Fußpunkt zurücklegen, durch folgende Ausdrücke gegeben ( $\varphi$  Polhöhe):

$$\frac{2 R \pi \cos \varphi}{24 \cdot 60 \cdot 60}, \quad \frac{2 (R + h) \pi \cos \varphi}{24 \cdot 60 \cdot 60}.$$

Auf die Turmspitze wirkt sonach ein Impuls in horizontaler Richtung, durch welchen im Laufe einer Sekunde ein Weg

gleich  $h\pi \cos \varphi : 12 \cdot 60^2$  zurückgelegt werden würde, während in der gleichen Zeit die Schwere den fallenden Körper einen Weg zurücklegen läßt, denn wir  $g$  nennen wollen. Am Ende der ersten Sekunde hat der Körper also, in östlicher Richtung, die Diagonale eines Rechteckes zurückgelegt, dessen beide Seiten  $h\pi \cos \varphi : 12 \cdot 60^2$  und  $g$  sind. In ähnlichem Sinne wird in der zweiten Sekunde ein etwas kleinerer Weg zurückgelegt, und ganz allgemein trifft folgendes zu: Unter dem gemeinschaftlichen Einflusse der Erdumdrehung und Erdschwere beschreibt der fallende Körper eine Kurve, welche in der Vertikalebene des Turmes verbleibt und den Erdboden östlich vom Fuße der Höhe trifft. Wie groß der Abstand dieses Punktes vom Fußpunkte ist, haben Gauß und Helmert berechnet. Die Versuche, welche Guglielmini und Benzenberg an Türmen, der letztere und Reich auch in Bergwerksschachten anstellten, haben die theoretische Voraussetzung vollauf bestätigt und bilden eine unumstößliche Bürgschaft für die Richtigkeit des ersten copernicanischen Hauptsatzes.

II. Azimutale Deviationen. Auch ein horizontal bewegter Körper, welches immer seine ursprüngliche Bewegungsrichtung gewesen sein möge, erleidet eine stetige Ablenkung, so daß das Azimut (Abschnitt IV), unter dem er sich bewegt, ununterbrochen ein anderes wird. Man kann zeigen, daß diese Deviation in der ersten Zeiteinheit, unter  $c$  eine Konstante, unter  $\varphi$  die geographische Breite verstanden, dem Produkte  $c \sin \varphi$  sehr nahe kommt, während die weiteren Ablenkungen nach den Bewegungsgesetzen gleichförmig beschleunigter Körper zu berechnen sind. Unser Ausdruck, der allerdings zunächst bloß ein approximativer ist, läßt erkennen, daß der Winkel, welchen die anfängliche Richtung mit dem Meridiane einschließt, von keinem irgend erheblichen Einflusse auf den Bewegungsvorgang sein kann, so daß also diejenigen irren, welche behaupten wollten, jene Ablenkungstendenz trete am stärksten bei Bewegungen im Meridiane und gar nicht bei Bewegungen längs eines Parallelkreises hervor. Auf der Nordhalbkugel erfolgt die Deviation nach rechts, auf der Südhalbkugel nach links.

Daß solche Richtungsveränderungen wirklich beobachtet werden, beweisen sowohl die ozeanischen Meeresströmungen, als auch jene Luftströmungen, die wir als

Passate und Monsune kennen. Auch das Grundgesetz der modernen Meteorologie, welches Buys Ballot aufgestellt hat, liefert einen Beleg, denn ihm zufolge kann die von einem barometrischen Maximum zum nächsten Minimum abfließende Luft dieses letztere nie erreichen, sondern bewegt sich um dasselbe in Spiralbahnen, die auf der nördlichen Hemisphäre rechts, auf der südlichen Hemisphäre links gewunden sind. Das von dem baltischen Naturforscher K. E. v. Baer herführende „Baersche Gesetz“, nach welchem das rechte Flußufer auf unserer Halbkugel immer stärker als das linke ausgewaschen sein sollte, wurde von Babinet und Fontès in Schutz genommen, von Finger und Zöppritz hingegen bekämpft. Auf alle Fälle hat man ihm lange Zeit eine zu große Tragweite zugeteilt, aber so viel dürfte von Sueß und Penck doch sichergestellt sein, daß auf der rechten Seite in der Tat, unter sonst gleichen Umständen, die Erosion besonders kräftig einsetzt. Darauf, daß angesichts der Schußweite der heutigen Geschütze die Erdrotation eine leichte Abirung der Projektile von ihrem Ziele zuwege bringen kann, hat schon Poisson aufmerksam gemacht. Und Martus berichtet, daß auch hier und da eine verschieden starke Beanspruchung der rechts- und linksseitigen Schienenzeile einer Eisenbahn wahrgenommen worden sei. Noch beweiskräftiger aber ist

III. Der Foucaultsche Pendelversuch. Nachdem schon in einer ganzen Reihe von Fällen konstatiert worden war, daß die Ebene eines frei schwingenden Pendels ihre Lage im Raume ändere, beschrieb 1851 Foucault jenen berühmten gewordenen Versuch, der die Erdumdrehung sinnfällig macht. Ein schwerer und an einem langen Faden AB (Fig. 38) aufgehängter Körper B wird derart in Schwingungen versetzt, daß er stets in ein und derselben Ebene verbleibt; dies erreicht man dadurch, daß man diesen Faden seitlich anbindet und die ihn haltende Schnur, ohne daß irgend ein seitlicher Anstoß mit unterläuft, abbrennt. Gesetzt, die ursprüngliche Schwingungsebene fiel mit der Meridianebene zusammen, so wird man nach einiger Zeit erkennen, daß ihr Durchschnitt mit dem Horizonte in die Richtung Südwest-Nordost, hierauf in die Richtung West-Ost fällt, und so geht es fort, bis endlich die anfängliche Stellung wieder erreicht ist. Falls man einen Kreisring aus Sand angehäuft hat, dessen Mittel-



punkt *M* senkrecht unter *A* liegt, so wird man den Fortschritt der Drehung mit den Augen verfolgen können, denn eine an die Linse *B* befestigte Spitze wird unausgesetzt neue Spuren in den Sand einzeichnen, und zuletzt ist der ganze Hügel abgekämmt. Das Gesetz, welches diese Drehungen regelt, ist das nämliche, welches für alle Horizontalablenkungen gilt, und demzufolge kann man behaupten:

Unter der geographischen Breite  $\varphi$  dreht sich die

Schwingungsebene des Foucaultschen Pendels in der Zeit  $t^h$  um einen Winkel gleich  $15 t^0 \sin \varphi$ , und die Zeit, die vergeht, bis die Ebene in ihre ursprüngliche Stellung zurückgekehrt ist, muß gleich  $24^h : \sin \varphi$  sein.

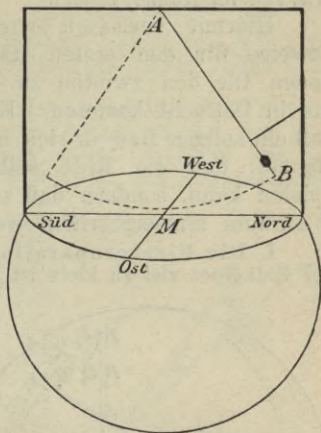


Fig. 38.

ist, muß gleich  $24^h :$

An den Polen beansprucht die Umdrehung 24 Stunden, am Äquator aber eine unendlich lange Zeit, so daß sie, da auch der kleinste endliche Teil von  $\infty$  selbst wieder  $\infty$  ist, hier nicht bemerkbar wird. Für den Drehsinn gilt, was vorhin überhaupt über azimutale Deviationen gesagt worden war.

Es leuchtet ein, daß sich die Schwingungsebene nicht wirklich dreht, da ja nirgendwo eine Kraft, die dergleichen bewirken könnte, vorhanden ist. Die Ebene behält ihre ursprüngliche Stellung zum Horizonte unverändert bei, aber der auf der rotierenden Erde befindliche Beobachter nimmt fortgesetzt andere Positionen ein und verlegt die für ihn nicht fühlbare Bewegung

in das Pendel. Am sichersten gelingt das Experiment, wenn AB sehr lang genommen und jede Störung durch Zugluft sorgfältig hintangehalten wird (Secchi im Pantheon, Garthe im Kölner Dome).

Hiermit verlassen wir die Veranschaulichungsweise für den ersten Hauptsatz und wenden uns denen für den zweiten zu. Es sind wesentlich drei, die in Betracht kommen. Es versteht sich von selbst, daß ein solcher Beweis sich nicht auf dem beschränkten Raume, den die Erde selbst zu Gebote stellt, abspielen kann, sondern daß zu dem Ende in den freien Weltraum hinausgegriffen werden muß.

I. Die Fixsternparallaxe. Wir haben gesehen, daß der Erdkörper viel zu klein ist, als

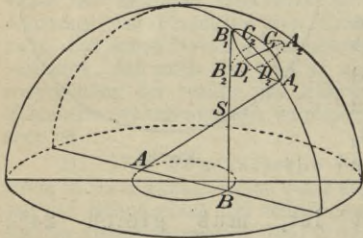


Fig. 39.

300000000 km beträgt, schien sich die Sache ungleich günstiger anlassen zu wollen. Perspektivisch gezeichnet, sei AB (Fig. 39) ein Durchmesser der kreisförmigen Erdbahn, und der Beobachter, der sich am 21. Dezember in A, am 21. Juni in B befand, projiziert den Ort des Fixsternes S bezüglich nach  $A_1$  und  $B_1$  auf der Himmelskugel.  $\sphericalangle ASB = \pi = \sphericalangle A_1SB_1$  ist die Jahresparallaxe des Fixsternes. Denken wir unsere Konstruktion auch für andere sich diametral gegenüberliegende Punkte der Erdbahn durchgeführt, so gelangen wir zu folgender Tatsache: Der schiefe Kegel, welcher den Fixstern zur Spitze und die

daß an den Endpunkten einer noch so großen Grundlinie eine parallaktische Verschiebung eines von den beiden Punkten aus anvisierten Fixsternes hervortreten könnte. Nachdem aber der zweite Satz des Copernicus die Möglichkeit eröffnete, für solche Parallaxenmessungen eine Basis zu verwenden, deren Länge nach Abschnitt XI rund

Erdbahn zur Basis hat, schneidet aus der Himmelskugel eine kleine sphärische Ellipse aus, und infolge der Erdbewegung bewegt sich der Stern auf dieser Kurve, die er im Laufe eines Jahres zurücklegt. Die parallaktische Kurve ist mithin ein direktes Bild derjenigen, welche die Erde zurücklegt. Als große Achse der Ellipse ist  $A_1B_1$  zu betrachten, und die kleine Achse  $C_1D_1$  steht auf jener senkrecht.

Als man, mit dieser Erkenntnis ausgerüstet, im XVIII. Jahrhundert nach Fixsternparallaxen zu suchen begann, fand sich, daß der Bogen  $A_1B_1$  doch noch immer zu klein war, um unmittelbar gemessen werden zu können. Die ausgezeichneten Fernrohre der Sternwarte von Greenwich lieferten in den Händen eines Bradley und Pond kein Resultat. Erst Beßels Messungen des Doppelsternes No. 61 im Schwan vom Jahre 1838 brachen das Eis.

Er wählte zwei einander ganz nahe benachbarte Sterne, einen hellen  $S_2$  (Fig. 40) und einen dunkleren  $S_1$ ; beide wurden aus den Endpunkten A und B eines Durchmessers der Erdbahn beobachtet, jedoch in der Weise, daß man die Positionswinkel bestimmte, nämlich

$\sphericalangle S_1AS_2 = \alpha$ ,  $\sphericalangle S_1BS_2 = \beta$ .

Wenn dann  $\pi_1$  und  $\pi_2$  die Jahresparallaxen beider Sterne sind, und wenn weiter angenommen wird, daß alle Punkte in einer Ebene liegen, so daß sich also die Geraden  $AS_1$  und  $BS_2$  in M unter dem Winkel  $\mu$  durchschneiden, so gelten nachstehende Gleichungen:

$$\alpha + \pi_2 = \beta + \pi_1 = 180^\circ - \mu; \quad \pi_2 - \pi_1 = \beta - \alpha.$$

Da nun schon  $\pi_2$ , die Parallaxe des helleren Sternes, eine überaus kleine Winkelgröße und  $\pi_1$  noch viel kleiner ist, so darf man letzteres vernachlässigen und findet  $\pi_2 = \beta - \alpha$ . In diesem Sinne ist von Beßel selbst, von W. und O. v. Struve, von Henderson, Maclear, Auwers u. a. rüstig weitergearbeitet worden, und heute kennt man wenigstens von einigen Fixsternen die Jahresparallaxen. Die größte Parallaxe und damit die kürzeste Erddistanz hat  $\alpha$  Centauri. Erstere

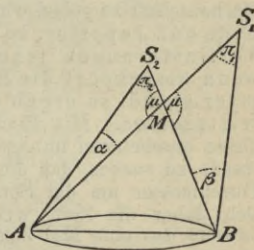


Fig. 40.



beträgt  $0,92''$ , und die damit charakterisierte Entfernung bezeichnet die Astronomie als Sternweite (genauer gehört dieser Begriff zu  $1''$  Parallaxe). Der hellste in Europa sichtbare Stern, Sirius, ist ungefähr viermal weiter von uns entfernt als der vorerwähnte Stern. Wie klein aber auch die Parallaxen sein mögen — ihr bloßes Vorhandensein spricht unwiderleglich dafür, daß die Erde sich im Raume fortbewegt.

II. Die Geschwindigkeit des Lichtes. Um 1675 machte Roemer die wichtige Entdeckung, daß das Licht sich mit meßbarer Geschwindigkeit im Raume fortpflanzt. Man war damals schon im Besitze genauerer Tafeln der Jupitertrabanten (Abschnitt IX), bemerkte aber gleichwohl einen konstanten Fehler derselben, von dem man sich zunächst keine Rechenschaft zu geben wußte. Stand die Sonne zwischen Erde und Juppiter, so traten die vorausberechneten Verfinsterungen jener Monde verspätet ein, und wenn umgekehrt die Erde zwischen Sonne und Juppiter stand, so ergab sich eine Verfrühung der Eintrittszeiten. Mit Recht erklärte Roemer, die Ursache dieses anscheinend unbegreiflichen Verhaltens sei in dem Umstande zu suchen, daß die Erde einen Kreis von sehr großem Durchmesser um die Sonne zu beschreiben habe, und daß sich daher die Zeit, welche zum Durchlaufen des Durchmessers das eine Mal benötigt und das andere Mal nicht benötigt wird, in der bemerkten Verspätung oder Verfrühung zu erkennen geben müsse. Damals hatte Roemers glückliche Inspiration ausschließlich den Zweck, auf Grund des als wahr erkannten copernicanischen Satzes einer tiefgreifenden physikalischen Wahrheit den Weg zu bahnen; in unseren Tagen kann man auch den entgegengesetzten Weg betreten und das astronomische Ereignis zum Beweise der Lehre von der Erdbewegung verwenden.

Es ist nämlich durch Foucault und Fizeau die Messung der Lichtgeschwindigkeit auch rein terrestrisch durchgeführt worden. Unter Beachtung der unumgänglichen Fehlerquellen ergab sich, daß die auf dem einen und anderen Wege ermittelten Werte der Lichtkonstante gut miteinander übereinstimmten. Die Wegstrecke, welche das Licht in der Sekunde zurücklegt, beträgt 312000 km, und auf die Durchlaufung der mittleren Distanz Sonne-Erde sind  $8^m 35^s$  zu rechnen — eben die kritische Zeit, auf welche Roemer auf-

merksam ward. Auch die neuesten Experimente, mittels deren Hertz die Identität von Licht- und elektrischen Schwingungen erwiesen hat, fügen sich diesen Ergebnissen ungezwungen ein.

III. Die Aberration des Lichtes. Damit, daß die Undulationen des Lichtäthers sich nicht instantan fortpflanzen, sondern Zeit hierzu gebrauchen, hängt auch noch ein weiteres hier einschlägiges Phänomen zusammen. Als Bradley in den zwanziger Jahren des XVIII. Jahrhunderts, wie oben bemerkt, die Parallaxen der Fixsterne aufzufinden bestrebt war, entdeckte er in der Tat eine gewisse, von manchen derselben beschriebene Ellipse und glaubte schon sein Ziel erreicht zu haben; bei näherem Zusehen jedoch konnte er die Überzeugung nicht abweisen, daß die von ihm entdeckte Ellipse nicht die parallaktische sei. Erstere hatte eine andere Lage; ihre große Achse  $A_2B_2$  (Fig. 39, s. o.) fiel in die Richtung  $C_1D_1$ , ihre kleine Achse  $C_2D_2$  in die Richtung  $A_1B_1$ , so daß gewissermaßen eine Drehung um  $90^\circ$  eingetreten war. Der Beobachter hatte den Eindruck, als sei der Stern immer etwas zurückgeblieben. Bradley sah bald, daß in dieser Lichtabirrung eine einfache Konsequenz der Lichtgeschwindigkeit zu tage trete, und daß der von ihm gemessene Ablenkungswinkel sich ganz ebenso bemerklich mache, wie beim Schießen auf bewegliche Ziele. Vom Sterne  $S$  (Fig. 41) gehen Lichtstrahlen nach der Erde  $A$ , die als parallel angenommen werden können; die Erde ist aber nicht stabil, sondern legt in der Zeiteinheit einen Weg  $AC = \sigma$  zurück, während  $s$  die Lichtgeschwindigkeit sein soll. Infolge dessen erblickt man den Stern nicht an seinem wahren Orte  $S$ , sondern an dem durch die Aberration bedingten Orte  $S_1$ , und die Geraden  $AS_1$  und  $CS$  schneiden sich in  $B$  unter dem Aberrationswinkel  $\alpha$ , während  $CB = s$  wird. Wenn endlich noch der Winkel  $SAC = w$  bestimmt wird, den die Richtung des Parallelstrahlenbündels mit der momentanen Berührungslinie der Erdbahn bildet, so folgt aus dem Dreieck  $ABC$  die Proportion

$$\sin(w - \alpha) : \sin \alpha = s : \sigma.$$

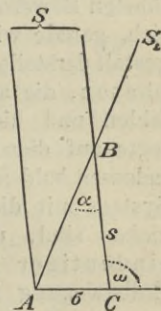


Fig. 41.

Setzt man  $\sigma : s = f$ , so berechnet sich hieraus

$$\text{tang } \alpha = \frac{f \sin w}{1 + f \cos w},$$

und dieser Ausdruck wird ein Maximum für  $w = 90^\circ$ , indem dann  $\text{tang } \alpha' = \sigma : s$  zu nehmen ist. Dieser Winkel  $\alpha'$  ist die Aberrationskonstante; nach W. v. Struve beträgt sie  $20,5''$ . In ihrer Art bekräftigt offenbar die durch die Aberrung des Lichtes bewirkte Sternverschiebung die copernicanische Lehre ebensosehr, wie die parallaktische Verschiebung.

Man könnte vielleicht unter den von uns aufgeführten Beweisen den vermissen, daß Venus und Merkur sich, gerade wie der Mond, von Zeit zu Zeit in Sichelgestalt darstellen. Galilei, der Entdecker der Planetenphasen, die auch den oberen Planeten nicht gänzlich fehlen und hier nur viel schwerer erkennbar sind, legte auf dieses Moment großes Gewicht. Man wird indessen bald inne, daß das ägyptische und tychonische System mit dieser Erscheinung auch ganz wohl vereinbar sind, und daß somit die Tatsache nicht als eindeutiger Beweisgrund für die Lehre von der Erdbewegung in Anspruch genommen werden kann.

Auf die umfassende Aufgabe, die Wahrheiten sowohl der Sphärik als auch der Lehre von den himmlischen Bewegungen maschinell zu veranschaulichen, kann hier aus äußeren Gründen nicht eingegangen werden. Es existieren, vom gewöhnlichen Himmels- und Erdglobus ganz abgesehen, schier unzählige, größtenteils mit viel Geist und pädagogischem Scharfblick konstruierte Apparate dieser Art; wir nennen nur die von Wetzels, Goepfert, Olin, H. Pick, Hippauf, Goetz, Brix, W. Schmidt, Mang, Naumann, Ducrue, Wislicenus, zu denen, als in seiner Art einzig dastehend, der Riesenglobus Adamis, eigent-



lich eine in den größten Dimensionen ausgeführte, nur die wichtigsten Himmelskreise vor Augen stellende Armillarsphäre, hinzutritt. Mit deren Hilfe kann man gleichmäßig das ptolemäische wie auch das copernicanische Weltsystem ad oculos demonstrieren.

---

### XIII. Die Gesetze der Planetenbewegung.

Das große Werk des Ptolemäus enthält eine in sich abgeschlossene Theorie aller planetarischen Bewegungen, die zwar des mechanischen Untergrundes, der uns gegenwärtig unerläßlich erscheint, entbehren muß, die aber auf der anderen Seite geometrisch so wohl gefügt war, daß sie die Berechnung von astronomischen Tafeln gestattete, durch welche Ereignisse am Himmel mit teilweise großer Sicherheit vorausberechnet werden konnten. Zumal der Finsterniskalkül, die Vorausberechnung der Mond- und Sonnenfinsternisse, war von den Griechen bereits sehr ausgebildet worden. Wir wollen jetzt die wichtigsten Erscheinungskomplexe durchmustern, ihre Erklärung nach Ptolemäus und Copernicus kennen lernen und auch nach dieser Seite hin den Vorzug des einen oder anderen Systemes zu bestimmen suchen.

Da in beiden Systemen der Mond als Satellit die Erde umkreist, so konnte hinsichtlich der Mondphasen keine verschiedene Anschauung platzgreifen. Bei Vollmond sehen wir die ganze uns zugekehrte Halbkugel von den Strahlen der Sonne erleuchtet; bei Neumond dagegen ist uns die unerleuchtete Halbkugel

des Mondes zugewendet. Steht derselbe im ersten oder letzten Viertel, so geht die Ebene des Kreises, welcher die helle und dunkle Seite trennt, durch die Erde hindurch, und wir sehen folglich ein Viertel der Mondoberfläche, die Hälfte der scheinbaren Mondscheibe beleuchtet. Befände sich die Mondbahn in der nämlichen Ebene mit der Erdbahn, während tatsächlich beide Bahnen einen kleinen Winkel einschließen, so gäbe es keine Lichtgestalten des Mondes. So oft der Mond zwischen Erde und Sonne träte, hätte man eine Sonnenfinsternis, und so oft er andererseits in den Schattenkegel der Erde eintauchte, wäre eine Mondfinsternis die Folge.

Verfinsterungen treten immer dann ein, wenn die beiden beteiligten Weltkörper sich gleichzeitig in der Nähe eines der beiden Knotenpunkte befinden, in denen ihre Bahnen sich durchkreuzen. Man kann im voraus bestimmen, wann eine solche optische Vereinigung stattfinden wird. Die Zeit, welche zwischen zwei konsekutiven Durchgängen des Mondes durch den nämlichen Knoten verfließt, ist ein drakonitischer Monat = 27,2122<sup>d</sup>, und die Zeit, welche verläuft, bis das Dreieck Sonne-Erde-Mond wieder die gleiche geometrische Gestalt, wie zunächst vorher, annimmt, ist ein synodischer Monat = 29,5306<sup>d</sup>. Das Verhältnis dieser beiden Zeiträume wird hier also die maßgebende Rolle spielen, und um dasselbe bequemer überblicken zu können, entwickeln wir es in einen Kettenbruch, indem wir

$$\frac{27,2122}{29,5306} = \frac{1}{1} + \frac{1}{11} + \frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \dots$$

setzen und nun die Näherungsbrüche ausrechnen. Von diesen ist der sechste der beachtenswerteste; er hat den Wert 223:242. Nach Umfluß jenes Zeitraumes T, welcher mit sehr großer Annäherung gleich 223 synodischen oder gleich 242 drakonitischen Monaten gesetzt werden kann, kehren Mond- und Sonnenfinsternisse

in dergleichen Reihenfolge wieder. Diese Zeit  $T$  war den Assyern und Babyloniern — wohl aus langjährigen Beobachtungsreihen — wohl bekannt und führte bei ihnen den Namen Saros. Auch die Chinesen bedienten sich dieser Periode zur zyklischen Vorausberechnung der Finsternisse, und ebenso ist an den Saros zu denken, wenn uns aus dem früheren Altertum, von Thales, Sulpicius Gallus u. a., Vorhersagungen einer Verfinsterung gemeldet werden.

Trigonometrisch haben diese Aufgabe erst Hipparch und Ptolemäus zu lösen gelehrt. Erst auf diesem Wege konnte man auch dazu gelangen, im voraus den Sichtbarkeitsstreifen abzugrenzen, innerhalb dessen die Finsternis total oder partiell, bei Sonnenfinsternissen gelegentlich auch ringförmig gesehen wird. Die zyklische Methode war dazu nicht imstande und trog deshalb zum öfteren die ihr Vertrauenden. Von Bedeutung werden diese Berechnungen, wenn man nach Maßgabe der Andeutungen von Abschnitt IX die Verfinsterungen für die geographische Ortsbestimmung auszunützen beabsichtigt; an und für sich aber sind sie der astronomischen Geographie als solcher fremd. Wir haben lediglich eine Detailfrage zu erledigen, auf welche im Abschnitt IV verwiesen worden ist, nämlich auf den aristotelischen Beweis für die Krümmung der Erdoberfläche. Wenn der Mond in den Erdschatten, wie das bei partiellen Finsternissen geschieht, nicht völlig eintaucht, so zeichnet sich der Schattenkegel auf der Mondscheibe als eine gekrümmte Linie ab. Dies könne, so war die Ansicht des griechischen Philosophen, nicht der Fall sein, wenn nicht der Schatten dadurch entstanden wäre, daß eine dunkle Kugel von einer hellen bestrahlt wird. Allein dieser Schluß ist, wie schon Apian hervorhob, kein zwingender. In Figur 42 ist  $S$  der Mittelpunkt einer leuchtenden Kugel, deren Strahlen durch den auf der Ebene  $SAB$  senkrecht stehenden Kreiszyylinder in ihrem Laufe aufgehalten werden. Die Achse des Zylinders geht in ihrer Verlängerung durch  $S$  hindurch, und seine abgewandte Grundfläche  $CD$  bildet die Basis einer Rotationskegelfläche mit der Spitze  $E$ , die gleichfalls auf der verlängerten Achse liegt. Bringen wir eine helle Kugel zum Durchschnitte mit diesem Kegel, so zeichnet sich auf ersterer eine Kreislinie ab, und doch ist der schattenwerfende Körper keine Kugel. So mangelt denn diesem Versuche, die



sphärische Rundung der Erde anschaulich zu machen, die eigentliche Beweiskraft.

Wenn wir zur Erklärung des Wechsels der Jahreszeiten übergehen, so bleibt es auch wieder ganz unserem Ermessen überlassen, ob wir uns an Ptolemäus oder an Copernicus halten wollen.

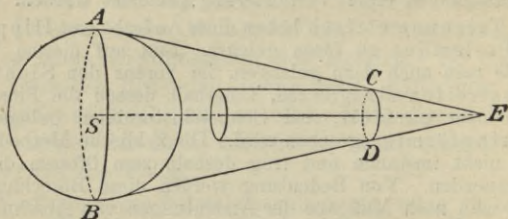


Fig. 42.

Deshalb möge gleich die Auffassung des letzteren wiedergegeben werden. S soll (Fig. 43) die Sonne sein, und in einem Kreise, der S zum Mittelpunkte hat, hier aber perspektivisch als Ellipse erscheint, bewegt sich um jene die Erde. Wir verzeichnen vier ausgezeichnete Positionen derselben: bei  $E_1$  befindet sie sich zur Zeit des Sommersolstitiums, bei  $E_3$  zur Zeit des Wintersolstitiums, bei  $E_2$  und  $E_4$  in den Äquinoktialtagen. Die Umdrehungsachse und der Äquator sind in allen vier Fällen durch dickere Striche markiert, während für die Stellungen  $E_1$  und  $E_3$  die Bestrahlungsgrenze durch die Linien  $F_1G_1$  und  $F_3G_3$  angedeutet erscheint. Wenn die Erde in  $E_2$  und  $E_4$  steht, fällt offenbar die Beleuchtungsgrenze mit der in der Zeichnungsebene liegenden Kreislinie zusammen; Nord- und Südhalbkugel verhalten sich der Sonne gegenüber völlig gleich, und deshalb

nehmen an den beiden Tagen der Tag- und Nachtgleiche Frühling und Herbst ihren Anfang. Sowohl in  $E_1$ , wie auch in  $E_3$  ist der bestrahlte Teil der Nordhalbkugel schraffiert, und ein Blick auf die Figur zeigt, daß dieser schraffierte Teil bei  $E_1$  ein relatives Maximum, bei  $E_3$  ein relatives Minimum der nördlichen Halbkugel darstellt. Am 21. Juni hat somit die Nordhalbkugel ihre günstigste, am 21. Dezember ihre ungünstigste Stellung gegenüber

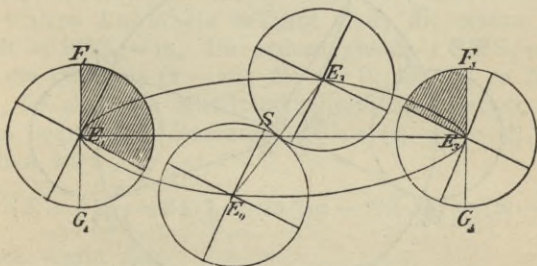


Fig. 43.

der Sonne, und beide Tage bestimmen den Beginn des Sommers und Winters; auf der Südhalbkugel verhält sich alles gerade umgekehrt.

Positive Vorzüge der heliozentrischen Weltansicht vor der geozentrischen haben sich uns bis jetzt nicht ergeben, und auch derjenige Punkt, zu dessen Besprechung sich unsere Darlegung nunmehr zu wenden hat, scheint zunächst noch den neutralen zugerechnet werden zu müssen. Es handelt sich um die sogenannte erste Ungleichheit der griechischen

Astronomen, darin bestehend, daß Sonne und Mond nicht zu allen Zeiten gleichgroße scheinbare Durchmesser haben. Wir sahen in Abschnitt XII, daß diese Beobachtung allein die eudoxische Lehre von den konzentrischen Sphären zu beseitigen geeignet ist; Hipparch fand sich mit ihr derart ab, daß er den exzentrischen Kreis an die Stelle des konzentrischen setzte. E (Fig. 44) ist die Erde; dieselbe kann nicht

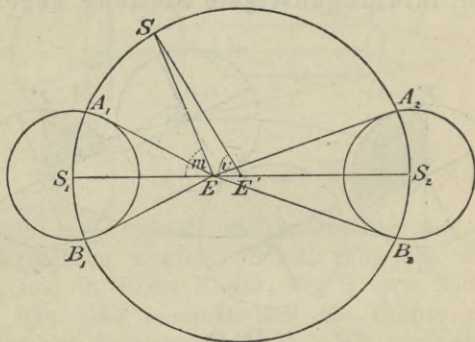


Fig. 44.

mit dem Mittelpunkte  $E'$  des Kreises zusammenfallen, den etwa die Sonne zurücklegt. Da der Sonnendurchmesser am kürzesten Tage seinen größten, am längsten Tage seinen kleinsten Wert annimmt, so muß am erstgenannten Tage die Sonne in  $S_1$ , am zweiten in  $S_2$  stehen; wenn  $A_1B_1 = A_2B_2$  den Durchmesser bedeutet, so ist  $\sphericalangle A_1EB_1$  die größte und  $\sphericalangle A_2EB_2$  die kleinste unter den Öffnungen der Tangentialkegel, welche aus E während des ganzen Jahres an die Sonnenkugel gelegt werden könnten. Die Strecke  $EE'$ , welche den



Erdmittelpunkt mit dem „punctum aequans“ verbindet, bestimmte Hipparch durch eine sehr kluge Überlegung, welche von der Ungleichheit der einzelnen Jahreszeiten ausging; wenn  $E'S_1 = E'S_2 = r$  gesetzt wurde, fand er  $EE' = \frac{r}{24}$ . Um den Betrag der Exzentrizität noch besser übersehen zu können, führte er auch die Mittelpunktsgleichung ein. Der willkürliche Sonnenort  $S$  wird mit  $E$  und  $E'$  verbunden, und dadurch entstehen die beiden Winkel, die als mittlere und wahre Anomalie bekannt sind; die erstere ist gleich  $\sphericalangle SES_1 = m$ , die andere gleich  $\sphericalangle SE'S_1 = v$ , und die Differenz  $(v - m)$ , die für  $S_1$  und  $S_2$  zu Null wird, ist eben die Mittelpunktsgleichung. Setzen wir für  $m$  bequemerer Rechnung halber  $(m - v + v)$ , so erhalten wir:

$$SE':EE' = r : \frac{r}{24} = 24:1 = \sin [(m - v) + v] : \sin (m - v);$$

hieraus ergibt sich

$$\text{tang } (m - v) = \frac{\sin v}{24 - \cos v}.$$

Seinen absolut größten Wert erhält dieser Winkel, der dann  $= 2^\circ 13'$  wird, für  $v = 90^\circ$ .

Auch Copernicus hielt an den Exzentern fest, und er konnte unter den damaligen Verhältnissen auch gar nicht anders handeln. Dagegen erhellte der ungeheure, von ihm angebahnte Fortschritt bei der Behandlung der sogenannten zweiten Ungleichheit der Alten. Dieselbe äußert sich darin, daß, wie schon bemerkt, die oberen Planeten nicht stets die gleiche Richtung einhalten, sondern stationär und rückläufig werden können. Hierüber gibt in mathematisch unanfechtbarer Weise Auskunft das von Ptolemäus mit großem Geschick durchgeführte, wahrscheinlich aber auf den großen Geometer Apollonius von Pergä (III. Jahrhundert

v. Chr.) zurückgehende System der Epizyklen (Beikreise). Auf dem Umfange des Exzentrers, der in der späteren Nomenklatur den Namen Deferenzkreis führte, bewegte sich nicht der Planet selber, sondern der Mittelpunkt eines kleinen Kreises, eben des Epizykels, mit gleichförmiger Geschwindigkeit, und von dem Planeten selbst wurde angenommen, er durchlaufe, wiederum gleichförmig, die Peripherie dieses zweiten Kreises. Für viele Fälle reichte diese erste Annahme vollständig aus; genügte sie aber nicht, so machte man den ersten Epizykel zum Deferenten eines zweiten Hilfskreises, dem der Planet angehörte, und nach diesem Prinzipie ließ sich eine beliebige Häufung der Epizykeln bewerkstelligen. Die Übereinstimmung der Beobachtung und Rechnung konnte auf diesem Wege geradezu erzwungen werden, und da die antike Welt keinen Anstoß daran nahm, sich eine Zentralbewegung ohne eigentliches Zentrum vorstellen zu müssen, so ist die Zustimmung wohl zu verstehen, welche diese — uns Neueren gekünstelt erscheinende — Hypothese im Altertum und erst recht im Mittelalter fand. Moebius hat gezeigt, daß unser modernes Verfahren, Größen aller Art durch Entwicklung in Beßelsche, nach den Sinus und Cosinus der Multipla eines Winkels fortschreitende Reihen mit jeder willkürlichen Annäherung an die Wahrheit darzustellen, dem Wesen nach ganz und gar auf die Bestimmung eines Planetenortes durch eine Kette ineinandergreifender Epizykeln hinausläuft.

Legt man durch die Peripheriepunkte, in denen der Planet jeweils nach Ablauf gleicher Zeiträume steht, eine Linie, so ist dieselbe, die zu den zyklischen Kurven gehört, die wahre Trajektorie des Wandelsternes. Dieselbe kann auch Schleifen bilden, und alsdann erklären sich die anscheinenden Anomalien der Planetenbewegung ganz einfach. ABCDG (Fig. 45) sei ein mit Schleife versehener Teil der Planetenbahn, die sich also in F selbst durchschneidet. Der Einfachheit wegen machen wir die — keineswegs notwendige — Annahme, daß die Gerade FC in ihrer Verlängerung durch die Stellung E des Beobachters auf der Erde

hindurchgehe, und denken uns von E an die Schleife die beiden Tangenten EB und ED gelegt. Von A bis B ist dann die Bewegung eine rechtläufige; hierauf folgt scheinbarer Stillstand, weil der Planet sich kurze Zeit in der Richtung der Gesichtslinie bewegt; die Bewegung von B über C nach D ist eine retrograde, und nachdem in D aufs neue ein stationärer Punkt überwunden ist, vollzieht sich die weitere Bewegung von D über F gegen G wieder im ursprünglichen Sinne.

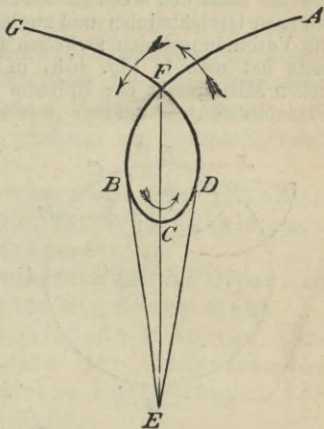


Fig. 45.

Wie nun wird die heliozentrische Anschauung mit diesen immerhin verwickelten Bewegungen fertig? Sowie man sich einen Beobachter auf der Sonne vorstellt, hören alle Anomalien auf; derselbe konstatiert ausschließlich rechtläufige Bewegungen. Um am konkreten Beispiele darzutun, daß auf diese Weise das geometrische Rüstzeug vollständig überflüssig wird, stellen wir, wie es H. J. Klein anrät, in Fig. 46a und b je ein Modell der ptolemäischen und coppernicanischen Anordnung nebeneinander. E ist die Erde, um die der Deferenzkreis eines Planeten beschrieben ist. Wir machen auf seiner Peripherie  $\text{arc } AB = \text{arc } BC = \text{arc } CD = \text{arc } DF$  und betrachten die Punkte A, B, C, D, F als zeitlich äquidistante Zentren eines Epizykels, dessen Radius gleich AO gesetzt wird. Zur Zeit Null befindet sich der Planet im Punkte O. Hierauf ziehen wir BG gleich und parallel AO, und ein gleiches soll für CH, DI, FK gelten. Um B, C, D, F wird mit dem gleichen Radius je ein Kreis beschrieben, und



auf den Peripherien dieser Kreise sind die Punkte 1, 2, 3, 4 so gewählt, daß  $\text{arc } G1 = \frac{1}{2} \text{arc } H2 = \frac{1}{3} \text{arc } J3 = \frac{1}{4} \text{arc } K4$  genommen wurde. Nunmehr sind die Geraden  $E0, E1, E2, E3, E4$  die nach den wechselnden Stationen auf dem Epizykel gezogenen Gesichtslinien und zugleich nach Größe und Richtung die Verbindungslinien zwischen Erde und Planeten. Andererseits hat man in Fig. 46b, in welcher  $S$  den gemeinschaftlichen Mittelpunkt der Erdbahn — innerer Kreis — und der Planetenbahn — äußerer Kreis — bedeutet, die Strecken

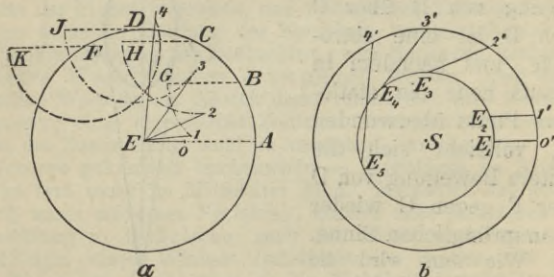


Fig. 46.

$E_1O', E_21', E_32', E_43'$  und  $E_54'$  so zwischen die beiden Kreisumfänge gelegt, daß

$E0 \# E_1O', E1 \# E_21', E2 \# E_32', E3 = E_43', E4 = E_54'$  geworden ist. Man sieht unverzüglich, daß die Anordnung in  $b$  unvergleichlich viel einfacher und natürlicher als die in  $a$  ist und doch für den Endzweck völlig dasselbe leistet. So trägt die heliozentrische Betrachtung auch dem Rückläufig- und Stationärwerden bei weitem ungezwungener Rechnung, und eine große Anzahl der ptolemäischen Epizykeln kommt ganz von selbst in Wegfall. Ganz vermochte derselben übrigens Copernicus selbst noch nicht zu entbehren; diese Radikalreform vollzog erst sein großer Nachfolger Kepler (1571—1630).

Teils in seiner „Astronomia nova de motibus Stellae Martis“ (1609), teils in der „Harmonice

mundi“ (1619) stellte er die drei Lehrsätze auf, welche er in gigantischer Rechnungsarbeit aus Tycho Brahes Beobachtungsregistern herausgelesen hatte, und welche er selbst freilich noch nicht kausal zu begründen wußte; als aber Newton auch dies nachgeholt hatte, haben sie für die Folgezeit den Kern der theoretischen Astronomie gebildet. Wenn wir diese Keplerschen Gesetze in der chronologischen Reihenfolge ihrer Auffindung wiedergeben, so haben sie nachstehenden Wortlaut:

I. Der von der Sonne nach dem Planeten gezogene Fahrstrahl überstreicht in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume.

II. Der Planet beschreibt eine Ellipse, in deren einem Brennpunkte die Sonne steht.

III. Für zwei verschiedene Planeten verhalten sich die Quadrate der Umlaufzeiten wie die Kuben der mittleren Entfernungen von der Sonne.

Solange die Planetenbahn als kreisförmig galt, hatte der Begriff der Distanz seine unmittelbar einleuchtende Bedeutung. Beschreibt dagegen der Planet eine Ellipse, deren Brennpunkte (Fig. 47)  $S_1$  und  $S_2$  sind, so kommt er der in  $S_1$  stehenden Sonne in P, dem Perihelium, am nächsten, und in A, dem Aphelium, ist er am weitesten von ihr entfernt. Bei der ebenfalls elliptischen Mondbahn treten Perigäum und Apogäum an die Stelle von Perihelium und Aphelium. Die vier Punkte A,  $S_2$ ,  $S_1$ , S gehören der großen Achse der Ellipse an, in deren Mittelpunkt M auf ihr die kleine Achse BC senkrecht steht. Die mittlere Entfernung kann der strengen Theorie zufolge nur durch höhere Rechnung erhalten werden; praktisch

kann man sie approximativ der großen Halbachse  $AM = MP$  gleich setzen. Wenn man irgend einen Punkt  $D$  der Ellipse mit  $S_1$  und  $S_2$  verbindet, so ist die Summe dieser Radienvektoren gleich  $AP$ . Das Wesen der Exzentrizität kennen wir aus Abschnitt X;

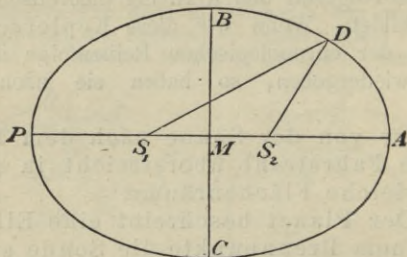


Fig. 47.

dieser echte Bruch ist bei den meisten Planeten sehr klein und erreicht nur bei Mars und bei einigen Asteroiden beträchtlichere Werte. Vorab die Erdbahn unterscheidet sich nur wenig von einem Kreise.

Wenn wir die Exzentertheorie mit der elliptischen Theorie vergleichen und den Erdmittelpunkt durch den Sonnenmittelpunkt, das Punctum aequans durch den Mittelpunkt der Ellipse ersetzen, so adaptieren sich sofort für die neue Auffassung die früheren Definitionen von wahrer Anomalie, mittlerer Anomalie und Mittelpunktsgleichung. Die Geschwindigkeit des Planeten in seiner Bahn ist jetzt natürlich keine gleichförmige mehr, vielmehr gestattet das erste Gesetz ohne weiteres den Schluß: Die Geschwindigkeit ist im Perihelium am größten und nimmt von da kontinuierlich ab gegen das Aphelium, in welchem sie ihren kleinsten Wert erhält.

Im vorigem Abschnitte mußte bereits auf das dritte Keplersche Gesetz verwiesen werden, weil dasselbe, falls



nur die Elemente der Erde bekannt sind, aus der Umlaufdauer  $T$  die mittlere Sonnendistanz  $\varrho$  berechnen läßt. Diejenige der Erde ist 1, ihr Umlauf um die Sonne erfordert 1 Jahr, und demnach hat man:

$$T^2 : 1 = \varrho^3 : 1; \quad \varrho = \sqrt[3]{T^2}.$$

Allerdings ist diese Formel nur obenhin richtig, und wenn sie ganz exakt werden soll, bedarf es auch einer Berücksichtigung der Planetenmassen.

Unsere Aufgabe an diesem Orte geht lediglich dahin, die Gesetze der Planetenbewegung insoweit zu behandeln, als dies erforderlich erscheint, um den Ort der Erde im Raume bestimmen zu können. Allein dabei war der unbewegliche Stand der Sonne vorausgesetzt. Müßte man von diesem absehen und auch der Sonne eine Bewegung zuteilen, so würden die Planeten, unter ihnen die Erde, nicht mehr geschlossene, sondern spiralförmige Bahnen beschreiben, wenigstens für einen im Raume unverrückbaren Standort. Allerdings wäre auch ein solcher ein bloßes Gedankending, wie denn schon Lambert, ganz im Einverständnis mit Giordano Bruno (s. o.), den Satz aufstellte: „Kein Punkt des ganzen Weltalls bleibt, auch nicht einen Augenblick, in absoluter Ruhe.“

Zu Lamberts Zeit, also gegen den Ausgang des XVIII. Jahrhunderts, hatte man schon wiederholt bemerkt, daß nicht alle Fixsterne diesen ihren Namen mit vollem Rechte trügen. Es stellte sich heraus, daß bei schärferer Analyse eine Zweiteilung der an diesen Sternen wahrgenommenen Ortsveränderungen zu erproben war; zum einen Teile kamen selbständige Bewegungen der sogenannten Fixsterne in Betracht, aber zum anderen Teile machte sich eine progressive Bewegung des Sonnensystemes bemerklich. Die Art der letzteren auszumitteln, appellierte 1783 W. Herschel an eine Beobachtung, die man alltäglich machen kann, und die sich ohne weiteres auf den gestirnten Himmel übertragen läßt. Wer

in einer langen Allee dahinschreitet, der sieht, daß vor ihm die Bäume auseinanderweichen, während sie beim Rückblicke zusammenzurücken scheinen. Ganz ebenso verhält es sich mit dem Firmamente. Der Apex, dem sich das bewegte Sonnensystem nähert, liegt da, wo sich die Sterne am entschiedensten voneinander entfernen, und den Antiapex kennzeichnet diejenige Stelle des Himmels, gegen welche sich die Sterne zusammenschieben. Die Forschungen, welche W. v. Struve, Lundahl, Galloway, Argelander und viele andere, in neuester Zeit mit besonderer Energie Anding angestellt haben, machten es wahrscheinlich, daß der Apex im Sternbilde des Herkules zu suchen ist.

#### XIV. Das Gravitationsgesetz in seiner Anwendung auf Himmel und Erde.

Fast ohne Vorläufer verfiel J. Newton auf sein berühmtes Gesetz der allgemeinen Gravitation, dessen Wesen und Konsequenzen sein 1687 herausgegebenes Werk „Principia naturalis philosophiae mathematica“ der Welt enthüllte. Zwei kugelförmige Massen,  $m_1$  und  $m_2$ , deren Mittelpunkte um  $r$  voneinander abstehen, ziehen sich gegenseitig mit einer Kraft an, deren mathematischer Ausdruck, unter  $q$  einen innerhalb der uns bekannten Welt gleich bleibenden Zahlenfaktor verstanden, durch

$$q \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

gegeben ist. Auch der kleinste Massenkörper übt, wie es Newtons Gesetz der Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung verlangt, auf den größten seinen attraktiven Einfluß aus, und dieser äußert sich

in einer — wiewohl minimalen — Bewegung der größeren Masse. Als Masse im Newtonschen Sinne bezeichnen wir das Produkt aus Volumen und Dichte.

Eine der hervorragendsten Leistungen Newtons war es, die Keplerschen Gesetze, die bis dahin eben doch nur Erfahrungssätze waren, mit strengen Beweisen zu versehen. Wir wollen ihm darin folgen, indem wir allerdings formell teilweise einen Gedankengang einhalten, der in jener Zeit, so wenig die Prinzipien andere geworden sind, nicht möglich gewesen wäre.

Beweis zu I. A (Fig. 48) sei der überwiegend massenkräftigere Körper (die Sonne), B der angezogene Körper (ein Planet). Die Anziehung würde in der Zeiteinheit diesen Körper von B nach C bringen; da aber dieser auch einen Antrieb empfangen hat, der ihn in der gleichen Zeit durch den Weg BD hindurchführen würde, so befindet er sich am Ende des Zeiteiles in E, und zwar ist sein Weg BE die Diagonale des aus BC und BD als Seiten konstruierten Parallelogrammes. Das Gesetz des Beharrungsvermögens, dessen Konzeption auf Galileis Schule zurückweist, hat zur Folge, daß der Körper im nächsten Zeiteile, die gerade Linie einhaltend, die Strecke  $EG = BE$  durchlaufen würde, wenn nicht gleichzeitig die Anziehung auf ihn wirkte, der folgend er von E nach F käme. So wird in der zweiten Sekunde die Diagonale EH des Parallelogrammes EFHG durchmessen, und nach der gleichen Regel kann man weiter die gebrochene Trajektorie des Körpers verzeichnen, die, wenn die Zeiteilchen unendlich klein genommen werden, in eine stetige Kurve übergeht. Aus der Figur folgt, da zwei ebene Dreiecke von

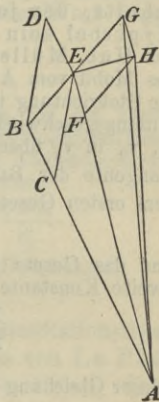


Fig. 48.



gleicher Grundlinie und Höhe flächengleich sind, unter Anwendung des Komparationsgrundsatzes:

$\triangle ABE = \triangle AEG$ ,  $\triangle AEG = \triangle AEH$ ,  $\triangle ABE = \triangle AEH$ .  
Was für unendlich schmale Sektoren gilt, trifft, wenn man die entsprechende Summation vollzieht, auch für Sektoren überhaupt zu.

Beweis zu II. Newton verallgemeinerte das zweite Gesetz, wie folgt: Wirken auf einen Massenpunkt einerseits eine konstante Anziehungskraft und andererseits eine einmalige, irgendwie gerichtete Stoßkraft, so beschreibt ersterer einen Kegelschnitt, der je nach Umständen Ellipse, Parabel, Hyperbel sein wird. Einen elementaren Beweis hierfür hat Hub. Müller gegeben. Im Beginne der Bewegung hat das Mobil vom Anziehungszentrum den Abstand  $d_0$ , und auf die Stoßrichtung ist die Senkrechte  $h_0$  gefällt, während  $v_0$  die Anfangsgeschwindigkeit bedeutet. Nach der Zeit  $t$  ist  $d_0$  in  $d_t$ ,  $v_0$  in  $v_t$  übergegangen, und die auf die augenblickliche Tangente der Bahnkurve gefällte Senkrechte ist  $h_t$ . Nach dem ersten Gesetze ist, wenn  $\beta$  eine Konstante bedeutet,

$$v_0 h_0 = v_t h_t = \beta,$$

und das Gesetz der lebendigen Kraft liefert, unter  $\gamma$  eine zweite Konstante verstanden,

$$\frac{1}{2} (v_t^2 - v_0^2) = \gamma \left( \frac{1}{d_t} - \frac{1}{d_0} \right).$$

Dieser Gleichung kann man, wenn  $\frac{1}{2} v_0^2 - \frac{\gamma}{d_0} = \alpha$  gesetzt wird, die Form

$$\frac{1}{2} v_t^2 = \frac{\gamma}{d_t} + \alpha$$

erteilen, und da  $v_t = \beta : h_t$  ist, so bleibt als Schlußgleichung diese:

$$h_t^2 = \frac{d_t \beta^2}{2(\alpha d_t + \gamma)}.$$

Je nachdem  $\alpha$  positiv, null, negativ genommen wird, ist dies die Gleichung einer Hyperbel, Parabel, Ellipse, und zwar fällt das Attraktionszentrum mit einem Brennpunkte der

Mittelpunktskegelschnitte oder mit dem Brennpunkte der Parabel zusammen.

Beweis zu III. Der Vereinfachung halber nehmen wir an, daß die beiden dem Vergleiche unterstellten Planeten in Kreisbahnen um die Sonne gehen, und daß gegenüber der überwiegenden Sonnenmasse  $M$ , was ja der Wahrheit sehr nahe kommt, die Planetenmassen einander gleich, jede  $= m$ , angenommen werden dürfen. Denken wir uns, die Tangentialimpulse hörten plötzlich zu wirken auf, so würden die Planeten sich radial gegen die Sonne bewegen, und zwar würden, wenn  $r_1$  und  $r_2$  die Radien,  $T_1$  und  $T_2$  die Umlaufzeiten sind, die in der ersten Sekunde beschriebenen Wege folgende Werte haben:

$$\frac{4 r_1 \pi^2}{T_1^2} \quad \text{und} \quad \frac{4 r_2 \pi^2}{T_2^2}.$$

Diese aus den Huygensschen Gesetzen für die Zentralbewegung sich von selbst ergebenden Anfangsgeschwindigkeiten sind aber auch den Newtonschen Anziehungskräften proportional, und es gilt sonach die Proportion

$$\frac{4 r_1 \pi^2}{T_1^2} : \frac{4 r_2 \pi^2}{T_2^2} = \frac{q M_m}{r_1^2} : \frac{q M_m}{r_2^2}.$$

Und diese wieder ist identisch mit der nachstehenden:

$$T_1^2 : T_2^2 = r_1^3 : r_2^3.$$

Nachdem so die Bedeutung der Gravitationstheorie für die Mechanik des Himmels, die von La Place, Encke, Newcomb, Poincaré, Seeliger, Lindstedt, Bruns u. a. auf das feinste ausgebildet worden ist und 1846 mit der Errechnung des Planeten Neptun durch Leverrier ihren höchsten Triumph feiern durfte, an einem auch die astronomische Geographie interessierenden Beispiele erläutert worden ist, nehmen wir den Faden unserer Untersuchung da wieder auf, wo wir ihn in Abschnitt XII fallen lassen mußten, als es sich um die wahre Erdgestalt handelte. Wir erwähnten damals einer Pendelbeobachtung, welche der sphäroidischen Theorie von Huygens und Newton

zur wesentlichen Stütze gereichte, konnten aber noch nicht näher auf den wahren Zusammenhang eingehen. Dazu ist jetzt die Zeit gekommen.

Huygens' Verdienst ist es auch, die bekannte Pendelformel hergeleitet zu haben; wenn  $l$  die Pendellänge,  $t$  die Schwingungszeit ist, und wenn man die Elongation klein genug nimmt, um noch das von Galilei entdeckte Gesetz des Isochronismus zu bewahren, so gelten die Relationen

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}, \quad l = \frac{gt^2}{\pi^2}.$$

Der Buchstabe  $g$  entspricht der Beschleunigung der Schwere, welche zugleich beim freien Falle eines Körpers den doppelten Fallraum der ersten Sekunde darstellt. In der tellurisch-kosmischen Physik ist von besonderer Bedeutung der Fall  $t = 1^s$ ; hier ist

$l = \frac{g}{\pi^2}$ , und damit ist gesagt: Die Länge des Sekundenpendels ist proportional der Schwere,

der Intensität der Erdanziehung. Wenn also Richer in Cayenne sein Sekundenpendel, das er von Paris mitgebracht hatte, verkürzen mußte, um es wieder in den richtigen Gang zu bringen, so folgte von selbst, daß in Guayana die Anziehungskraft der Erde, die man sich bei nahezu kugelförmigen Körpern im Mittelpunkte konzentriert vorstellen kann, einen kleineren Wert als in Paris hat, daß demnach auch der Äquator vom Erdzentrum weiter als ein Ort mittlerer Breite absteht. Und dies war ja die natürliche Konsequenz der Huygensschen Doktrin, der zufolge der Erdkörper eine Auftreibung am Äquator, eine Abplattung an den Polen aufweisen sollte.



Allerdings ist der Schluß in dieser Form noch nicht ganz beweisend, weil auf die unter verschiedenen Breiten auch verschieden starke Zentrifugalkraft keine Rücksicht genommen wurde. Auch diese Ergänzung läßt sich nach den von Huygens angegebenen Formeln leicht beibringen.  $AA'$  (Fig 49) sei der Erdäquator,  $PP'$  die Polarachse,  $C$  der Erdmittelpunkt,  $B$  ein beliebiger Punkt des Meridianes. Die Zentrifugalbeschleunigung  $BD$  wirkt senkrecht auf der

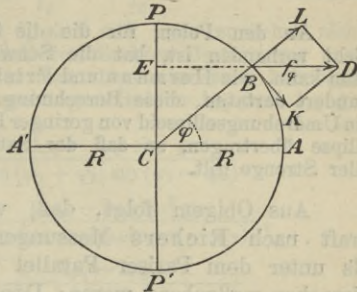


Fig. 49.

Umdrehungsachse, welche sie verlängert in  $E$  trifft. Der Radius  $BE$  des durch  $B$ , unter der Breite  $\varphi$ , gelegten Parallelkreises ist, wenn wieder  $R$  den Radius der Erdkugel bezeichnet, gleich  $R \cos \varphi$ , und wenn also noch  $f_\varphi$  die zur Breite  $\varphi$  gehörige Zentrifugalbeschleunigung darstellt, hat man

$$f_\varphi = \frac{4 r \pi^2 \cos \varphi}{T^2}, \quad f_0 = \frac{4 r \pi^2}{T^2}, \quad f_\varphi = f_0 \cos \varphi.$$

Die Umdrehungsdauer  $T$  ist gleich der Länge des Sterntages (Abschnitt V), d. h. gleich 86164 Sekunden. Zerlegt man  $BD$  durch Konstruktion des Kräfterechteckes  $BKDL$  in die radiale Komponente  $BL$  und in die tangentielle Komponente  $BK$ , die nicht weiter in Betracht kommt, so ist

$$BL = f_\varphi \cos \varphi = f_0 \cos^2 \varphi.$$

Die Kraft  $BL$  wirkt der in der Richtung  $CB$  sich betätigenden Schwerkraft entgegen, und wenn man mithin durch  $g_\varphi$  die unter der Polhöhe  $\varphi$  tatsächlich zur Geltung kommende Schwerkraft kennzeichnet, so ist

$$g_\varphi = g_0 + f_0 - f_0 \cos^2 \varphi = g_0 + f_0 (1 - \cos^2 \varphi),$$

$$g_\varphi - g_0 = f_0 \sin^2 \varphi.$$

Die Schwerkraft nimmt vom Äquator gegen die Pole hin zu, und zwar proportional dem Quadrate des Sinus der geographischen Breite.

An den Polen, für die die Schwerkraft überhaupt nicht vorhanden ist, hat die Schwere ihren größten Wert. Man kann, wie Hermann und Frisi bereits im XVIII. Jahrhundert dartaten, diese Berechnung ohne weiteres auch auf ein Umdrehungsellipsoid von geringer Exzentrizität der Meridianellipse übertragen, so daß der Satz auch für die Erde in aller Strenge gilt.

Aus Obigem folgt, daß, wenn die Anziehungskraft nach Richers Messungen am Äquator kleiner als unter dem Pariser Parallel war, hierfür zweierlei Ursachen maßgebend waren: Die sphäroidische Auftreibung und der verhältnismäßig große Wert der die Schwere vermindernenden Schwerkraft. Es bedarf folglich einer Betrachtung für sich, um über den Zusammenhang zwischen Schwerkraft, Zentrifugalkraft und Erdabplattung ins klare zu kommen. Den Schlüssel zur endgültigen Lösung der obschwebenden Fragen gab den Forschern Clairauts im Jahre 1743 veröffentlichte „Théorie de la figure de la terre“. Dieses Buch enthält das berühmte Clairautsche Theorem: Die Erdabplattung  $\alpha$  ist, die bisherigen Bezeichnungen beibehalten, gegeben durch die Gleichung

$$\alpha = \frac{5}{2} \cdot \frac{f_0}{g_0} - \frac{g_{90} - g_0}{g_0}.$$

Dieselbe kann, wenn man statt der Schwerebeschleunigung die Länge des Sekundenpendels einführt, in die für die praktische Verwertung geeignetere Form transformiert

werden, wenn nach  $l_{\varphi}$  die zur Breite  $\varphi$  gehörige Sekundenpendellänge ist,

$$a = \frac{5}{2\pi^2} \cdot \frac{f_0}{l_0} - \frac{l_{90} - l_0}{l_0}.$$

Die Größen  $l_{90}$  und  $l_0$  sind nun zwar zunächst nicht bekannt, und  $l_{90}$  würde sich der direkten Bestimmung auch heute noch entziehen. Hat man aber unter zwei beliebigen Breiten  $\varphi_1$  und  $\varphi_2$  die zugehörigen Größen  $l_{\varphi_1}$  und  $l_{\varphi_2}$  gemessen, so kann man

$$\begin{aligned} l_0 &= l_{\varphi_1} - \frac{(l_{\varphi_1} - l_{\varphi_2}) \sin^2 \varphi_1}{\sin(\varphi_1 + \varphi_2) \sin(\varphi_1 - \varphi_2)} \\ &= l_{\varphi_2} - \frac{(l_{\varphi_1} - l_{\varphi_2}) \sin^2 \varphi_2}{\sin(\varphi_1 + \varphi_2) \sin(\varphi_1 - \varphi_2)}, \\ l_{90} &= l_0 + \frac{l_{\varphi_1} - l_{\varphi_2}}{\sin(\varphi_1 + \varphi_2) \sin(\varphi_1 - \varphi_2)} \end{aligned}$$

setzen, und es steht der Anwendung des Clairautschen Lehrsatzes zur Bestimmung der Erdgestalt nichts mehr im Wege.

So wurden denn, nachdem die Methoden der Pendelmessung und die notwendigen Reduktionen eine allseitige Vervollkommnung erfahren hatten, unzählige Beobachtungen der sogenannten Pendelschwere an den verschiedensten Orten angestellt, um aus ihnen die Größe  $a$  abzuleiten. An und für sich sollen ja, wie wir erfuhren, zwei Längen des Sekundenpendels für diesen Zweck ausreichen, allein es leuchtet ein, daß die Genauigkeit wachsen mußte, wenn man die Messungen vervielfachte und nach den Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung ausglich. Nun hätte man erwarten sollen, derjenige Betrag der Abplattung, welcher aus den Pendelbeobachtungen folgte, hätte, je höher die Präzision dieses Verfahrens stieg, um so besser mit demjenigen Werte zur Deckung gebracht werden müssen, der sich aus den Gradmessungen ergab.

Das war jedoch nicht der Fall, und so begann um die Mitte des XIX. Jahrhunderts sich mehr und mehr die vordem nur von einzelnen



gehegte Überzeugung zu befestigen, daß die Erde nicht die Gestalt eines geometrisch exakten Rotationsellipses besitze, von der man bisher als von einer sich von selbst ver-  
stehenden Sache ausgegangen war.

Damit greifen wir wieder auf die Gradmessungen zurück, die wir verlassen hatten, als die Darstellung zu Beßel gelangt war; er hatte das Problem so weit gefördert, als es möglich war, wenn man sich bloß auf die Messung von Meridiangraden beschränken wollte. Sowie jedoch ernste Zweifel an der sphäroidischen Gestalt aufgetaucht waren, mußte man jenen auch Messungen von Längengraden zur Seite stellen. Plana und Carlini fanden 1825, daß der auf Grund der ellipsoidischen Hypothese berechnete Längenunterschied der Städte Turin und Mailand sich von dem durch Dreiecksverknüpfung ermittelten um 31" unterschied. Für Deutschland entwarf 1816 General v. Müffling den Plan einer ausgedehnten Längengradmessung, und Airy führte in den fünfziger Jahren eine solche in Großbritannien und Irland durch. Vor allem aber ist hier das großartige Unternehmen W. v. Struves zu nennen. Einerseits maß er einen Breitengradbogen, der sich von der Küste des Nördlichen Eismeres bis zu der des Schwarzen Meeres erstreckte, und andererseits verlängerte er Airys Messung quer durch Rußland bis Orsk an der sibirischen Grenze. Diese Leistungen bildeten aber nur die Unterlage für eine neue Anregung, die zu Beginn der sechziger Jahre gegeben und von der allerfolgenreichsten Bedeutung für die Zukunft wurde.

Der preußische General J. J. Baeyer, Beßels Hilfsarbeiter bei der ostpreußischen Gradmessung, setzte es bei seiner Regierung durch, daß eine Einladung an alle beteiligten Staaten erging, eine mitteleuropäische Gradmessung zu begründen. Schon 1862 hatte das Projekt eine feste Form angenommen, und im Jahre darauf trat eine permanente Kommission neben einem Zentralbureau in das Leben. Im Jahre 1866 erweiterte sich die mitteleuropäische zu

einer europäischen Gradmessung, und diese ging 1886, ein Jahr nach Baeyers Tode, in eine internationale über. Der Plan, nach dem einheitlich vorgegangen wird, ist jedoch nur dann recht zu verstehen, wenn man sich zuvor klar gemacht hat, wie die geodätischen und physikalischen Methoden, die erwähnstermaßen für die Bestimmung der Erdgestalt gleichberechtigt erschienen und doch nicht identische Resultate zu liefern imstande waren, durch eine verallgemeinerte Problemstellung zu einem befriedigenden Ausgleich gebracht werden können. Ph. Fischer bahnte ihn im Jahre 1868 an, und seitdem ist namentlich durch die fundamentalen Arbeiten von Bruns und Helmert („Die mathematischen und physikalischen Theorien der höheren Geodäsie“, Leipzig 1884—1885) eine ganz neue Lehre von der Erdgestalt geschaffen worden, deren Grundzüge die folgenden Zeilen enthalten.

Die Erdgestalt fällt zusammen mit dem absolut ruhenden, von Wind und Wellen unbewegten Mittelwasser einer ausgedehnten Wasserfläche. Statt Erdgestalt ist neuerdings das von Listing 1873 geprägte Wort Geoid ( $\gamma\eta$ , Erde;  $\epsilon\iota\delta\eta\varsigma$ , ähnlich) herrschend geworden, und aus unserer ersten Definition folgt sofort die weitere: Geoid ist jede innerhalb der oberen Schichten der Erdrinde verlaufende Fläche, auf welcher in jedem ihrer Punkte die Resultante aus Schwer- und Schwungkraft senkrecht steht. Es gibt somit, strenge genommen, kein einheitliches Geoid, sondern aus der unendlichen Zahl der soeben charakterisierten Flächen, welche man Niveau- oder Gleichgewichtsflächen nennt, hat jede einzelne das Recht, als Geoid angesprochen zu

werden. Tatsächlich manifestiert sich diese Vieldeutigkeit des Begriffes auch darin, daß jeder ausgehntere und staatlich selbständige Teil der Oberfläche unserer Erde sich sein eigenes Geoid ausgewählt hat, indem er an einer seiner Küsten einen Normalwasserstand fixiert hat, auf welchen er, wie dies die Höhentäfelchen der Bahnhöfe bekunden, seine Höhenkoten bezieht. So rechnen Deutschland und Holland nach der Normalnull von Amsterdam, die jedoch vom Niveau von Swinemünde nur ganz wenig abweicht, Österreich nach der Normalnull von Triest u. s. w. Von einschneidenderer Bedeutung ist diese Verschiedenheit der normativen Niveauflächen deshalb nicht, weil dieselben durchweg nur um kleinere Bruchteile eines Meters voneinander abstehen.

Keine Niveaufläche kann durch eine Koordinatengleichung dargestellt werden, weil sie stets geometrisch unregelmäßig ist. Gleichwohl weiß man von ihr, daß sie stetig gekrümmt und geschlossen sein muß, sowie daß sie durchaus eine gegen außen konvexe Krümmung besitzt. Um sich von dem Verlaufe eines Geoides eine möglichst zutreffende Vorstellung zu verschaffen, ordnet man ihm ein nach Helmert sich ihm möglichst anschmiegendes Umdrehungssphäroid als Referenzellipsoid zu und gibt punktweise an, wie weit beide Flächen voneinander abstehen. Über wenige hundert Meter kann diese Distanz auch im ungünstigsten Falle nicht hinausgehen, dann nämlich, wenn ungleiche Dichteverteilung an oder unter der Oberfläche bewirkt, daß die ellipsoidisch berechnete Normale mit derjenigen, die man mit der Wasserwage gemessen hat, einen größeren Winkel bildet. Dieser Winkel heißt Lotablenkung oder Lotstörung, und auf ihn muß bei jeder geodätischen Operation sorgfältig Bedacht genommen werden. In Fig. 50 stellt die ganz ausgezogene Kurve die Meridianellipse des zugeordneten Sphäroides, die gestrichelte diejenige des Geoides vor. In den Punkten A, B, C, D ist die Entfernung beider Flächen gleich Null, während an zwei Orten starke



positive, an zwei anderen starke negative Abweichungen zu konstatieren sind.

Das Endziel der von der internationalen Erdmessung zu lösenden Aufgaben läßt sich nun dahin bestimmen: Für eine tunlichst große Anzahl sehr kleiner Bezirke der Erdoberfläche soll deren Beziehung zwischen Geoid und Referenzellipsoid ermittelt werden. Hierzu verhilft in erster Linie die astronomisch-trigonometrische Messung, durch welche dem Geoide ein Polyeder einbeschrieben wird, von dem man Kanten und Winkel genau kennt, zweitens die Pendelschwere, mittels deren man, weil der Abstand zweier Niveauflächen durch die Größe  $g$  (s. o.) mit bestimmt wird, diese Abstände finden lernt, und drittens das Prä-

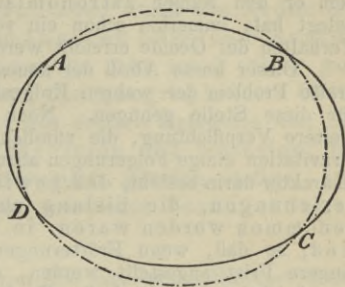


Fig. 50.

zisionsnivellement, welches sich nur durch die feinere Ausführung der Detailoperationen vom gewöhnlichen Nivellement (Abschnitt IX) unterscheidet und zusammen mit den Schweremessungen die Abstände der Polyederpunkte von beiden in Betracht kommenden Flächen liefert. Ein vorzügliches Hilfsmittel für die Pendelbeobachtungen besitzt man in dem Pendelapparate R. v. Sternecks, welcher die Geodäten in den Stand gesetzt hat, förmliche Schwereprofile durch irgend ein Land hindurchzulegen und sich unter anderem der sehr merkwürdigen Tatsache zu versichern, daß die Erdrinde unter dem Flachlande einen Massenüberschuß, unter großen Kettengebirgen hingegen einen Massendefekt aufzuweisen pflegt.

Die genannten Operationen müssen sich in ihrer Dreizahl die Hände reichen, wenn für einen Erdort A festgestellt werden soll, welchen Verlauf das Geoid in der Umgebung von A besitzt. Sollte das betreffende Land ein meerfernes

sein, so kann man, wie dies Messerschmitt in der Schweiz durchgeführt hat, einen beliebigen, leicht zu findenden Punkt als Nullpunkt auswählen, in dem sich Geoid und wirkliche Erdoberfläche berühren. Ein absolut exaktes Resultat ist, wenn eine der genannten drei Operationen unterbleibt, nicht zu erzielen. Indessen hat Helmert den Nachweis geführt, daß durch ein abgekürztes Verfahren, dem er den Namen astronomisches Nivellement beigelegt hat, immerhin schon ein sehr guter Einblick in das Verhalten der Geoide erreicht werden kann.

Dieser kurze Abriss der neuesten Phase, in welche das uralte Problem der wahren Erdgestalt eingetreten ist, mag für diese Stelle genügen. Noch aber verbleibt uns eine weitere Verpflichtung, die nämlich, aus der Lehre von der Gravitation einige Folgerungen abzuleiten, deren gemeinsamer Charakter darin besteht, daß gewisse Größen- und Lagebeziehungen, die bislang als unveränderlich angenommen worden waren, in Wirklichkeit variabel sind, so daß, wenn Erörterungen und Berechnungen auf längere Frist angestellt werden, dieser Wechsel nicht unberücksichtigt bleiben darf. Es hängt dies zusammen mit den Störungen oder Perturbationen, welche die einzelnen Planeten, da doch ihre wechselseitigen Entfernungen ununterbrochener Veränderung unterliegen, aufeinander ausüben, und welche zwar nach La Place nicht die Stabilität des Sonnensystemes in Frage stellen, sonst aber sich ziemlich kräftig offenbaren können. So bleibt zwar die große Achse der Erdbahnellipse intakt, aber ihre Exzentrizität, die gegenwärtig nur klein ist, schwankt zwischen zwei ziemlich weit auseinanderliegenden Grenzen, und da zugleich innerhalb eines Zeitraumes von rund 21000 Jahren das Perihel einen vollen Kreis durchwandert, so erleidet die Dauer der Jahreszeiten, für beide Halbkugeln alternierend, nicht unerhebliche Schwankungen. Einigermassen wirkt dabei unterstützend, daß auch die Ekliptikschiefe (Abschnitt II) zwischen zwei Grenzlagen oszilliert, die allerdings nur um etwa sechs Bogengrade voneinander abstehen. Die Schattenlänge eines hohen Turmes z. B. ändert sich somit während eines Jahrzehntes in recht wohl meßbarem Betrage.

Weit gewichtiger noch sind aber die Lageveränderungen der Erdachse. Wenn wir auf

diese zu sprechen kommen, so haben wir zwei ganz verschieden geartete Vorgänge auseinanderzuhalten: Es kann die Erdachse ihre Lage im Raume ändern, ohne daß dadurch, weil Achse und Erdkörper fest verbunden bleiben, die Werte der geographischen Koordinaten eine Änderung erfahren; es kann aber auch die Erdachse eine Verschiebung im Inneren unseres Planeten erfahren, und eine solche übt auch eine gewisse Einwirkung auf die geographische Ortsbestimmung aus. In die erstere Kategorie von Erscheinungen gehören Präzession und Nutation; für die zweite sind charakteristisch gewisse stetige, erst in jüngster Zeit genauer erforschte Veränderungen der Polhöhen.

Als Hipparch die von ihm gemessenen Sternpositionen mit denjenigen des Eudoxus (s. o.) verglich, erkannte er, daß die astronomischen Breiten (Abschnitt IV) zwar gleich geblieben, die astronomischen Längen dagegen um eine für alle Fixsterne konstante Winkelgröße gewachsen waren. Von Ptolemäus wurde der Sachverhalt, der sich in den inzwischen verflossenen fünfhundert Jahren noch klarer ausgesprochen hatte, bestätigt und richtig gedeutet. Der Widderpunkt, jener Knotenpunkt von Äquator und Ekliptik, von dem aus die Längen gezählt werden, wandert in rückläufigem Sinne auf letzterem Hauptkreise mit so gut wie gleichförmiger Geschwindigkeit, und da auf das Jahr eine Bewegung von 50'' entfällt, so wird nach Umfluß einer Periode von

$$\frac{360 \cdot 60 \cdot 60}{50} = 25920$$

Jahren, die man ohne rechten Grund das große platonische Jahr zu nennen beliebt hat, der Widderpunkt wieder an dem ursprünglich von ihm eingenommenen Orte der Himmelskugel angelangt sein. Wir können diese Erscheinung auch mit anderen Worten kennzeichnen, wenn wir die Beziehungen



zwischen Himmels- und Ekliptikpol ins Auge fassen. Die Rotationsachse der Erde beschreibt im angegebenen Zeitraume den Mantel eines Kreiskegels, und zwar ist dessen Öffnung doppelt so groß als der Abstand eines Ekliptikpols vom nächst gelegenen Himmelspole, oder doppelt so groß als die Schiefe der Ekliptik. Die vorerwähnte Veränderlichkeit dieses Winkels spielt also auch hier herein.

Diese Präzession, die man treffender als Rückgang der Äquinoktialpunkte bezeichnet, führten Newton und D'Alembert auf ein Attraktionsphänomen zurück. Die Achsenbewegung wäre nicht vorhanden bei einer homogenen

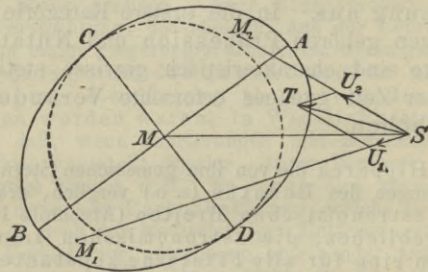


Fig. 51.

oder doch aus homogenen Schichten konzentrisch aufgebauten Erdkugel; sie ist vielmehr eine einfache Folge der sphäroidischen Gestalt.  $AB$  (Fig. 51) sei die große,  $CD$  die kleine Achse der Meridianellipse,  $M$  der Erdmittelpunkt. Wir denken uns eine Kugel konstruiert, die  $CD$  als Durchmesser hat und in der Papierebene als ein die Ellipse in den beiden Endpunkten der kleinen Achse berührender Kreis erscheint. Der so zusammengesetzte Körper unterliegt der Anziehung von Sonne und Mond, weshalb man wohl auch von einer Luni-solarpräzession spricht.  $S$  sei der anziehende Körper. Die Anziehung, welche auf die Kugel ausgeübt wird, kann keinerlei Effekt ausüben, weil die Anziehungsrichtung  $SM$  durch deren Mittelpunkt hindurchgeht. Dagegen ist die Attraktion, welche gegen die beiden ellipsoidisch-sphärischen Schalenkörper wirkt,

ungleich groß; diejenige Kraft  $SU_1$ , die in der Richtung  $SM_1$  wirkt, ist offenbar kleiner als  $SU_2$  in der Richtung  $SM_2$ . Sind doch die Massen gleich, die Entfernungen vom Attraktionszentrum dagegen verschieden. Setzt man  $SU_1$  und  $SU_2$  mittels des Kräfteparallelogrammes  $SU_1TU_2$  zu einer Resultierenden  $ST$  zusammen, so geht diese im allgemeinen nicht durch den Mittelpunkt  $M$ , und sie ist es, welche die Achse der Erde nötigt, sich in konischer Bewegung um eine Achse zu drehen, die in unserem Falle auf der Zeichnungsebene senkrecht stehen würde. Die sogenannten Gyroskope von Bohnenberger, Foucault-Froment, Fessel, Sire, Ducretet-Gilbert sind dazu eingerichtet, diese Art von Bewegung augenfällig vorzustellen.

Wir mußten auf Grund der bisherigen Erfahrungstatsachen annehmen, daß der von der Erdachse beschriebene Präzessionskegel eine Rotationskegelfläche sei. In aller Strenge trifft dies jedoch nicht zu. Es fand nämlich im Jahre 1747 Bradley eine Ungleichförmigkeit der Präzessionsbewegung auf, die Nutation, die von Machin und D'Alembert ebenfalls als eine Konsequenz der kosmischen Schwere erklärt wurde. Primärer Grund dieser in einer Periode von  $18\frac{2}{3}$  Jahren sich vollziehenden Achsenschwankung ist der Umstand, daß die Mondbahn mit der Ekliptik einen Winkel von  $5^\circ$  bildet, und in dem soeben genannten Zeitraume umwandern die Knotenpunkte beider Bahnen die volle Kreisperipherie. Die Nutation bringt es zuwege, daß der Präzessionskegel eine undulierend-geriefte Mantelfläche erhält.

Wie erwähnt, nimmt an allen diesen Bewegungen der Achse die mit ihr fest verbundene Erde vollkommen teil. Aber erstere ist auch gewissen Veränderungen unterworfen, die sich in einer stetigen Verlegung der beiden Erdpole zu erkennen geben. Schon früher gehegte Vermutungen, daß die Polhöhen vieler europäischer Orte einer säkulären Verringerung unterlägen, wurden in den achtziger Jahren durch Hall und Küstner, der sich bei seinen Untersuchungen über die Aberrationskonstante der Talcottschen Methode (Abschnitt IX) vielfach zu be-

dienen hatte, außer Zweifel gesetzt. Um jeden Irrtum auszuschließen, veranstaltete man Korrespondenzbeobachtungen auf der östlichen und westlichen Hemisphäre; denn wenn an einem Orte die mit der Breite identische Polhöhe sich vermindert, muß sie in dem Nebenwohnorte sich um gleichviel vermehren. E (Fig. 52) soll

der Mittelpunkt der Erdkugel, P der Pol zu einer gewissen Zeit und  $A_1$  und  $A_2$  sollen die beiden gleichweit vom Äquator  $AA'$  und zugleich um  $180^\circ$  in Länge abstehenden Erdorte sein,  $A_1H_1$  und  $A_2H_2$  ihre Horizonte. Unter  $P'$  den zu P gehörigen Himmelspol verstandend, ziehen wir  $A_1P'$  und  $A_2P'$  parallel zu  $PP'$ ; dann ist  $\sphericalangle P'A_1H_1 = \varphi_1$  und  $\sphericalangle P'A_2H_2 = \varphi_2$  bezüglich die Polhöhe von  $A_1$  und  $A_2$ . Man sieht sofort, daß

$\varphi_1 = \varphi_2$  sein muß. Rückt nun der Erdpol P auf dem Meridian von  $A_1$  und  $A_2$  nach links, so daß jetzt  $EP'_1$  die Weltachse geworden ist, so ist nunmehr  $\varphi'_1 = \sphericalangle P'_1A_1H_1$  die Polhöhe von  $A_1$  und  $\varphi'_2 = \sphericalangle P'_1A_2H_2$  die Polhöhe von  $A_2$ . Die beiden Winkel  $P'A_1P'_1$  und  $P'A_2P'_1$  sind gleich, jeder gleich  $\psi$ , weil ihre Schenkel parallel sind; also ist auch

$$\varphi'_1 = \varphi_1 + \psi, \quad \varphi'_2 = \varphi_1 - \psi.$$

Um diesen Umstand nutzbar zu machen, beobachtete

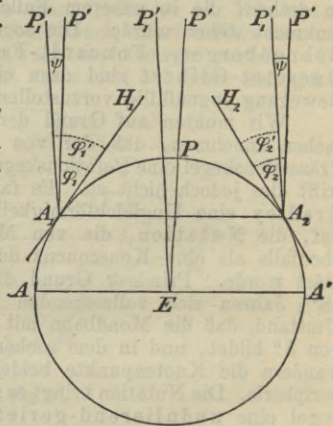


Fig. 52.



Marcuse auf den Sandwich-Inseln, und es zeigte sich, daß dort in der Tat die Polhöhe sich in einem dem europäischen entgegengesetzten Sinne veränderte.

Während des letzten Jahrzehntes hat sich das Studium dieser merkwürdigen, die eigentlich astronomische Beobachtungspraxis jedoch nur geringfügig beeinflussenden Erscheinung wesentlich nach zwei Richtungen bewegt, über deren Eigenart man sich aus den Berichten, die im Auftrage der Gradmessungskommission Albrecht fortlaufend herausgibt, unterrichten kann. Einerseits handelt es sich um fortgesetztes Sammeln und Prüfen des Tatsachenmaterials und um dessen rechnerische Ergründung, die z. B. bereits den Erfolg hatte, daß van den Sande Bakhuyzen einen Zusammenhang zwischen der Achsenverschiebung und den Mittelwasserständen der Weltmeere aufzudecken vermochte. Man sucht insbesondere auch festzustellen, ob die Ansicht des Amerikaners Chandler, daß in den Veränderungen der Polhöhe eine gewisse Periodizität obwalte, sich exakt begründen läßt. Eine zweite Gruppe von Forschern sucht, wie die Arbeiten von G. H. Darwin, Haughton, Schiaparelli bekunden, vorwiegend die dynamischen Bedingungen der Achsenverlegung zu eruieren, indem sie dabei den schon von Euler bewiesenen Lehrsatz zur Anwendung bringt, daß bei chronischen Massenumlagerungen der instantane Drehungspol um eine Normallage gewisse Bewegungen vollziehen muß. Ob jene Massenumlagerungen damit zusammenhängen, daß zwischen den beiden Erdhalbkugeln ein regelmäßiger Austausch von Luft- und Wassermassen stattfindet, ist nicht ausgemacht, jedoch keineswegs unwahr-

scheinlich. Jedenfalls steht die Wissenschaft hier einem folgenschweren Probleme gegenüber, das nicht nur in die zunächst betroffene astronomische Geographie, sondern in die gesamte kosmische und terrestrische Physik eingreift und noch viele Jahre lang einen Ehrenplatz auf der wissenschaftlichen Tagesordnung behaupten wird.

# Register.

- Abendweite** 22.  
**Abendstern** 27.  
**Aberration des Lichtes** 129. 130. 131.  
**Aberrationskonstante** 130.  
**Aberrationswinkel** 129.  
**Ablesemikroskop** 42.  
**Abplattung** 93. 150.  
**Absteigender Knoten** 25.  
**Abszisse** 28. 31. 32.  
**Abweichung (magnetische)** 18.  
**Achromatisches Fernrohr** 52.  
**Achse (große d. Ellipse)** 141.  
**Achse (kleine d. Ellipse)** 141.  
**Achsenparallelismus** 121.  
**Achsenchwankung** 159. 160. 161. 162.  
**Adami** 130.  
**Ägypt. Weltsystem** 119.  
**Airy** 152.  
**Akronyktischer Aufgang** 28.  
**Akronyktischer Untergang** 28.  
**Albrecht** 119.  
**Alfonso (von Kastilien)** 121.  
**Alhidada** 40.  
**Allgemeine Erdkunde** 7.  
**Almagest** 119.  
**Al Mamun** 93.  
**Almukantarar** 32.  
**Anding** 144.  
**Aneroidbarometer** 90.  
**Anfangsmeridian** 70.  
**Anfangspunkt des Koordinatensystemes** 28.  
**Anomalie (mittlere)** 137.  
 „ (wahre) 137.  
**Anthropogeographie** 7.  
**Antiapex** 144.  
**Antipoden** 67.  
**Antöken** 67.  
**Apex** 144.  
**Aphelium** 141. 142.  
**Apianus** 8. 85. 133.  
**Apogäum** 141.  
**Apollonius (von Pergä)** 137.  
**Äquator (der Erde)** 148.  
**Äquator (des Himmels)** 20. 24. 25.  
**Äquatorhöhe** 20.  
**Äquinoktium** 23.  
**Arabische Nomenklatur** 13.  
**Arago** 101.  
**Archimedes** 48. 50. 62. 120.  
**Argelander** 144.  
**Aristarchus** 110. 120.  
**Aristoteles** 7. 61. 62.  
**Armillarsphäre** 42. 131.  
**Ascius** 68.  
**Asteroiden** 114.  
**Astronomie** 5. 6.  
**Astronomische Geographie** 5. 7. 8. 30. 162.  
**Astrophotographie** 113.  
**Aufgang** 13. 19. 60.  
**Aufgangspunkt** 14.  
**Aufsteigender Knoten** 27.  
**Aufsteigung (gerade)** 31.  
**Austausch von Luft- u. Wassermassen** 161.  
**Auwers** 113. 114. 127.  
**Auzout** 40.  
**Azimut** 29. 77. 123.  
 „ **Azimutale Deviation** 123.  
**Babinet** 124.  
**Baculus geometricus** 50.  
**Baffin** 85.  
**Bär (großer)** 17.  
 v. **Baer** 124.  
**Baersches Gesetz** 124.  
**Barnard** 84.  
**Barometrische Höhenmessung** 67. 90.  
**Basis** 90. 94.  
 v. **Bauernfeind** 117.  
**Baeyer** 152. 153.  
**Beccaria** 101.  
**Beharrungsvermögen** 145.  
**Beikreis** 138.  
**Beleuchtungsgrenze** 134.  
**Benzenberg** 82. 123.  
**Beschleunig. d. Schwere** 148.  
**Beßel** 52. 102. 103. 127. 152.  
**Beßelsches Erdsphäroid** 102. 103.  
**Beßelsche Reihen** 138.  
**Bewegung des Sonnensystemes** 143. 144.  
**Bilfinger** 37.  
**Biogenetisches Grundgesetz** 10.  
**Biologische Geographie** 7.  
**Biot** 101.  
**Blaeu** 96.



- Blickfeuer 81.  
 Boeckh 120.  
 Boehm 77.  
 Bohnenberger 99.  
   159.  
 Boscovich 101.  
 Bouguer 99.  
 Bradley 117. 127. 129.  
   109.  
 Brahe (Tycho) 34.  
   41. 43. 117. 120. 141.  
 Brandes 82.  
 Brechungsindex 45. 116.  
 Brechungskoeffizient  
   45. 116.  
 Breite (astronomische)  
   31.  
 Breite (geographische)  
   73. 74. 75. 76. 77. 78.  
   79. 80. 101.  
 Breite (geozentrische)  
   101.  
 Breitenkreis 22.  
 Brennpunkt (d. Ellipse)  
   141. 146.  
 Brennpunkt (des Fern-  
   rohres) 52.  
 Brix 130.  
 Bruno (Giordano)  
   121. 143.  
 Buys 117. 147.  
 Buys-Ballot 124.  
  
 Cagni 57.  
 Calcagnini 121.  
 Canonica 101.  
 Cardo 18.  
 Carlini 152.  
 Cassini (D.) 84. 97. 117.  
 Cassini (J.) 97.  
 $\alpha$  Centauri 127.  
 Chandler 161.  
 Chronograph (elek-  
   trischer) 54.  
 Chronologie 6.  
 Chronometer 83.  
 Chronometrische Zeit-  
   bestimmung 88.  
 Clairaut 130.  
 Clairautsches Theo-  
   rem 150. 151.  
 Clarke 103.  
 Clavius 41. 105.  
 Columbus 85.  
 Cook 86.  
  
 Copernicanisches  
   Weltssystem 120. 121.  
   122. 123. 124. 125. 126.  
   127. 128. 129. 130. 131.  
 Copernicus 9. 16.  
   68. 121. 122. 126. 128.  
   131. 134. 137. 140.  
 Curtze 91.  
 Cusanus (Nikolaus)  
   121.  
 61 Cygni 61. 127.  
  
 D'Alembert 158. 159.  
 Dämmerung 35.  
 Dämmerung (astrono-  
   mische) 35.  
 Dämmerung (bürger-  
   liche) 35.  
 Darwin 161.  
 Datumsgrenze 72.  
   " (histo-  
   rische) 73.  
 Datumsgrenze (nau-  
   tische) 72. 73.  
 Dauer der Jahreszeiten  
   156.  
 Decumanus 18.  
 Deferenzkreis 138.  
 Deklination (astrono-  
   mische) 31. 76.  
 Deklination (magne-  
   tische) 18. 83.  
 Deklinationskreis 32.  
 De la Condamine 99.  
 Delambre 101.  
 Depression (des Hori-  
   zontes) 105.  
 Depression (topogra-  
   phische) 89.  
 Descartes 116.  
 Dichte 145.  
 Dichteverteilung (im  
   Erdinnern) 154.  
 Diesterweg 9.  
 Dimensionen des Erd-  
   körpers 96.  
 Distanzberechnung  
   (sphärische) 70. 73. 74.  
 Distanz der Himmels-  
   körper 106. 107. 108.  
   109. 110. 111. 112. 113.  
   114.  
 Dioptra 43.  
 Dixon 101.  
 Dogmatische Lehrart 9.  
  
 Dollond 52.  
 Domenico Maria  
   121.  
 Doppelsterne 127.  
 Douwes 77.  
 Dreiachsiges Ellipsoid  
   103.  
 Dreistab 49.  
 Ducretet 159.  
 Ducrue 130.  
 Dufour 62. 105.  
 Durchbiegung (der In-  
   strumente) 79.  
 Durchsicht (Dioptr) 40.  
  
 Einheitszeit 71.  
 Einschattig 68.  
 Ekliptik 24. 76.  
 Ekliptikpoldistanz 32.  
 Elevationswinkel 90.  
 Ellipse (Erdbahn) 141.  
   142.  
 Ellipse (Planeten-  
   bahnen) 146. 147  
 Elongation 27.  
 Encke 113. 147.  
 Entfernung der Erde  
   von der Sonne 109.  
   110. 111. 112. 113. 114.  
 Epizykel 138. 139. 140.  
 Epoche 37.  
 Eratosthenes 7. 92.  
   93.  
 Erdachse 66.  
 Erdanziehung 148.  
 Erdäquator 66.  
 Erdgestalt 96.  
 Erdglobus 130.  
 Erdhalbmesser 91. 92.  
   93.  
 Erdkugel 104. 105. 106.  
 Erdmeridian 66.  
 Erdpole 66.  
 Erdrinde 153.  
 Erdsphäroid 101. 102.  
   104.  
 Erdumseglung 8.  
 Eudoxisches Welt-  
   system 118.  
 Eudoxus 7. 118. 157.  
 Euler 161.  
 Europäische Gradmes-  
   sung 153.  
 Ewige Nacht 58.  
 Ewiger Tag 58.

- Exzentrischer Kreis 136.  
 142.  
 Exzentrizität (der  
 Ellipse) 142. 150.  
 Fadenkreuz 52.  
 Fahrstrahl 141.  
 Fallraum in der ersten  
 Sekunde 148.  
 Fallversuche 122.  
 Farbenzerstreuung 52.  
 Federbarometer 90.  
 Fernrohr 40.  
 Ferrel 94.  
 Ferro (Meridian von)  
 71.  
 Fessel 159.  
 Finsterniskalkül 131.  
 Fischer 153.  
 Fixsterne 21.  
 Fixsternparallaxe 126.  
 127. 128. 131.  
 Fizeau 128.  
 Flintglas 52.  
 Flora (Planet) 114.  
 Fontès 124.  
 Forel 62. 105.  
 Fortpflanzungs-  
 geschwindigkeit der  
 Elektrizität 82. 129.  
 Fortpflanzungs-  
 geschwindigkeit des  
 Lichtes 81. 82. 128. 129.  
 Foucault 124. 128. 159.  
 Foucaultscher  
 Pendelversuch 124.  
 125. 126.  
 Fraunhofer 52.  
 Frisi 150.  
 Froment 159.  
 Frühlingsanfang 134.  
 Frühlingsstag- u. Nacht-  
 gleiche 23.  
 Fundamentaleinheit  
 (astronomische) 109.  
 Fundamentalsterne 86.  
 Funkeln (der Sterne) 21.  
 Galilei 84. 121. 122.  
 130. 145. 148.  
 Galle 114.  
 Galloway 144.  
 Gangstörung (der Uhr)  
 88.  
 Garthe 127.
- Gauß 82. 102. 123.  
 Gegenfüßler 67.  
 Gegenwohner 67.  
 Gemäßigte Zone 66.  
 Gemma Frisius 8.  
 88. 94.  
 Genetisches Lehrver-  
 fahren 9.  
 Geodäsie 89.  
 Geodäsie (höhere) 96.  
 Geographie 5. 8.  
 Geographische Orts-  
 bestimmung 7.  
 Geoid 153. 154. 155.  
 Geophysik 6.  
 Geozentrische Reduk-  
 tion 87.  
 Geozentrischer Stand-  
 punkt 9.  
 Geozentrische Welt-  
 anschauung 134.  
 Gerling 114.  
 Gesetze der Planeten-  
 bewegung 131. 132.  
 133. 134. 135. 136. 137.  
 138. 139. 140. 141. 142.  
 143. 144.  
 Ghetaldi 105.  
 Gilbert 159.  
 Gill 114.  
 Gilliß 114.  
 Gleicher 20.  
 Gleichgewichtsfigur 103.  
 Gleichheit von Wirkung  
 u. Gegenwirkung 144.  
 Gnomon 39.  
 Gnomonik 38.  
 Goepfert 130.  
 Goetz 130.  
 Gravitation (all-  
 gemeine 144.  
 Gravitationsgesetz 144.  
 145. 146. 147. 148. 149.  
 150. 151. 152. 153. 154.  
 155. 156. 157. 158. 159.  
 160. 161. 162.  
 Guglielmini 123.  
 Günther 80.  
 Gylden 117.  
 Gyroskop 159.
- Hadley 44. 48.  
 Hadrianus 8.  
 Halbmesser von Ge-  
 stirnen 52. 114.
- Hall 159.  
 Halley 90. 111.  
 Hansen 113.  
 Harrison 88.  
 Haughton 161.  
 Heiße Zone 66.  
 Heliakischer Aufgang  
 27.  
 Heliakischer Untergang  
 27.  
 Heliotrop 82.  
 Heliozentrischer Stand-  
 punkt 9.  
 Heliozentrische Welt-  
 anschauung 134.  
 Helmert 123. 154. 156.  
 Henderson 127.  
 Henlein 38.  
 Heraklides Pon-  
 tikus 121.  
 Herbart 10.  
 Herbstanfang 134.  
 Herbsttag- und Nacht-  
 gleiche 23.  
 Herkules (Sternbild)  
 144.  
 Hermann 150.  
 Heron 43.  
 Herschel (J.) 86.  
 Herschel (W.) 143.  
 Hertz 82.  
 Heteroscias 68.  
 Hiketias 120.  
 Himmelsachse 16.  
 Himmelsgewölbe 11.  
 Himmelsglobus 130.  
 Himmelskugel 12. 16. 24.  
 61. 126. 127.  
 Hipparchus 7. 8. 48.  
 84. 110. 111. 119. 133.  
 136. 137. 157.  
 Hippauf 130.  
 Hippopede 119.  
 Höhe (astronomische)  
 31.  
 Höhe (über dem Meere)  
 89. 90. 91.  
 Höhenkreis 32.  
 Höhenmessung 89. 90. 91.  
 Homerus 10.  
 Homozentrische  
 Sphären 118.  
 Hooke 122.  
 Horizont 11. 65.

- Horizont (scheinbarer) 65.  
 Horizont (wahrer) 65.  
 Horizontalparallaxe 107.  
 Horizontalwinkel 90.  
 Horrebow 78. 79. 80.  
 Hultsch 93.  
 Hydrosphäre 64.  
 Hyperbel (Bahn von Himmelskörpern) 146. 147.  
 Jacobi 103.  
 Jährl. Bewegung 121.  
 Jahr 25.  
 Jahr (platonisches) 157.  
 Jahresparallaxe 126.  
 Jahreszeiten 134. 135.  
 Jakobstab 50. 51.  
 Index 42.  
 Internationale Erdmessung 153.  
 Instantane Lichtfortpflanzung 139.  
 Instantaner Drehungspol 161.  
 Interpolation 86.  
 Iris (Planet) 114.  
 Isochronismus der Pendelschwingungen 148.  
 Julianischer Kalender 25.  
 Juppiter (Planet) 27. 119. 120.  
 Jupitermonde 84. 128.  
 Kabel (submarines) 81.  
 Kalendariographie 6.  
 Kalender 25.  
 Kalte Zone 66.  
 Kardinalpunkte 17.  
 Kartenprojektion 6.  
 Kegelschnitte 146.  
 Kepler 9. 103. 140. 141. 109. 112. 114. 141. 142. 143. 145.  
 Kimmtiefe 105.  
 Klein 139.  
 Knoten (aufsteigender) 29. 157.  
 Knotenpunkte 24. 132.  
 Kochthermometer 91.  
 Kolor d. Äquinoktien 32.  
 Kolor d. Solstitien 32.  
 Kompaß 83.  
 Konjunktion 26.  
 Konvexspiegel 62. 63.  
 Koordinaten 28.  
 Koordinatensystem 28.  
 Kosmischer Aufgang 27.  
 Kosmischer Untergang 27.  
 Kramp 117.  
 Krebs (Cusanus) 121.  
 Kronglas 52.  
 Krümmung der Erdoberfläche 59. 60.  
 Krümmung des Geoides 154. 155.  
 Krümmungskreis 97.  
 Krümmungsradius 97. 98.  
 Krystallsphären 119.  
 Kugelgestalt der Erde 61. 62. 63.  
 Kulmination 16.  
 Kulminationshöhe 75. 76.  
 Kulminationspunkt 16.  
 Kurswinkel 80.  
 La Caille 101. 108.  
 Lactantius 68.  
 Lageveränderungen der Erdachse 156. 157. 158. 159. 160. 161. 162.  
 La Lande 108.  
 Lambert 117. 143.  
 Länderkunde 7.  
 Länge (astronomische) 29. 31.  
 Länge (geographische) 70. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88.  
 Längengradmessung 152.  
 La Place 147. 156.  
 Lateralrefraktion 115.  
 Leverrier 137.  
 Lichtabirrung 129.  
 Lichtgestalten 26.  
 Lichtkonstante 128.  
 Liesganig 101.  
 Limbus 40. 41. 44.  
 Lindstedt 147.  
 Linienmessung. (bei Gradmessungen) 94.  
 Listing 153.  
 Lithosphäre 64.  
 v. Littrow 82.  
 Lotablenkung 154.  
 Lotstörung 154.  
 Loxodromische Kurve 80.  
 Loxodromisches Dreieck 80.  
 Loxodromische Trigonometrie 81.  
 Luftdruck und Refraktion 117.  
 Luftströmungen 123.  
 Lundahl 144.  
 Lunisolarpräzession 158.  
 Luzifer (Planet) 27.  
 Machin 159.  
 Maclear 127.  
 Magalhães 72.  
 Magnetnadel 17.  
 Maire 101.  
 Mang 130.  
 Marcianus Capella 119.  
 Marcuse 79. 80. 161.  
 Mars (Planet) 27. 108. 114. 119. 120.  
 Marsparallaxe 108. 114.  
 Martin 120.  
 Martus 124.  
 Mason 101.  
 Maße 104. 105.  
 Massenverteilung in der Erdrinde 155.  
 Mathematische Geographie 5.  
 Mauerquadrant 43.  
 Maupertuis 99.  
 Maurolycus 105.  
 Mayer (Chr.) 101.  
 Mayer (Tob.) 85. 117.  
 Mechanik des Himmels 147.  
 Meereshöhe 89.  
 Meeresslänge 83.  
 Meeresströmungen 123.  
 Megale Syntaxis 119.  
 Meridian 15. 16. 59.  
 Meridiandurchgang 152.  
 Meridianebene 15.  
 Meridiankreis 15. 16. (Instrument) 44.



- Merkur (Planet) 27. 119. 120.  
 Merkurdurchgang 111.  
 Messerschmitt 156.  
 Meter 102.  
 Mikrometer 52.  
 Mikrometerschraube 52.  
 Mißweisung (magnetische) 83.  
 Mittagkreis 15.  
 Mittagslinie 15. 59.  
 Mitteleuropäische Gradmessung 152.  
 Mitteleuropäische Zeit 72.  
 Mittelländisches Meer (Achsenverzerrung) 84.  
 Mittelpunktsgleichung 137.  
 Mittelwasserstände 161.  
 Moebius 133.  
 Modell d. Erdoberfläche 65.  
 Moltke 71.  
 Monat (drakonitischer) 132.  
 Monat (synodischer) 132.  
 Mondabstände 85.  
 Mondfinsternis 62. 83. 84. 110. 131. 132. 133. 134.  
 Mondkulmination 85.  
 Mondparallaxe 110. 111.  
 Monoscus 68.  
 Monsune 124.  
 Morgenweite 22.  
 Morgenstern 27.  
 Morses Telegraph 54.  
 v. Müffling 152.  
 Müller 146.  
 Münster 94.  
 Nachtbogen 22. 23.  
 Nansen 37.  
 Naturmaß 102.  
 Naumann 130.  
 Nebenwohner 67. 160.  
 Neptun (Planet) 147.  
 Neumond 26.  
 Newcomb 147.  
 Newton 96. 97. 99. 103. 122. 144. 145. 146. 147. 158.  
 Niebuhr 78. 85.  
 Niveaufläche 153.  
 Nivellement (astronomisches) 156.  
 Nivellement (geometrisches) 89.  
 Nivellierinstrument 89.  
 Nonius 41.  
 Nordpol (der Erde) 66.  
 Nordpol (des Himmels) 17.  
 Nordpunkt 17.  
 Nordsüdlinie 18.  
 Nordsüdrichtung 55.  
 Normalnull 154.  
 Norwood 96.  
 Nullmeridian 70.  
 Nullpunkt (der Längenzählung) 70.  
 Nunes 8.  
 Nutation 157. 159.  
 Obere Planeten 27.  
 Objektiv 52.  
 Okeanos 10.  
 Oktant (der Mondbahn) 52.  
 Okular 52.  
 Olin 130.  
 Ontogenese 10.  
 Opposition 26.  
 Ordinate 28. 31. 32.  
 Orientierung 17.  
 Orontius Finäus 8. 85.  
 Orthographische Projektion 13.  
 Ortszeit 71.  
 Osten 14.  
 Ostpunkt 14.  
 Ostwestlinie 14.  
 Ostwestrichtung 55.  
 Parabel (Bahn von Himmelskörpern) 146. 147.  
 Parallaktische Aufstellung 53.  
 Parallaktischer Winkel 107.  
 Parallaxe 107. 108. 109. 110. 111. 112. 113. 114. 126. 127. 128.  
 Parallelkreis (des Himmelsäquators) 20. 32.  
 Parallelkreis (d. Ekliptik) 20.  
 Parallelkreis (der Erdkugel) 66.  
 Paris (Meridian von) 71.  
 Parmenides 66.  
 Partielle Finsternis 133.  
 Passageninstrument 44.  
 Passate 124.  
 Pendelformel 148.  
 Pendelmessung 151.  
 Pendelschwere 151. 155.  
 Pendeluhr 54.  
 Perigäum 141.  
 Perihelium 141. 142.  
 Perjeken 67.  
 Periscus 69.  
 Permanente Kommission (der Gradmessung) 152.  
 Persönliche Gleichung (Personalfehler) 54. 79.  
 Perturbationen (der Planeten) 156.  
 Peucker 68.  
 Peurbach 49.  
 Phasen (des Mondes) 26. 131. 132. [130].  
 Phasen (der Planeten) 120.  
 Philolaus 120.  
 Phosphorus (Planet) 27.  
 Photogrammetrie 79.  
 Photograph. Breitenbestimmung 79. 80.  
 Photograph. Reiseinstrument 80.  
 Photometr. Radienmessung 115.  
 Phylogeneese 10.  
 Physik 89.  
 Physik (kosmische) 162.  
 " (terrestrische) 162.  
 Physikalische Geographie 67.  
 Picard 96. 99.  
 Pick (A. J.) 10.  
 " (H.) 130.  
 Pigafetta 72. 85.  
 Plana 152.  
 Planeten 22. 27.  
 Planetendistanzen 114.  
 Planetendurchgang 111. 112. 113. 114.

- Planetoiden 114.  
 Platon 118. 157.  
 Poincaré 147.  
 Polarkreis 66.  
 Polarstern 70.  
 Polarzone 66.  
 Poldistanz 32.  
 Pole (in geometrischem Sinne) 12. 30.  
 Pole des Himmels 17.  
 Pole der Erde 66.  
 Polhöhe 19. 80. 100. 159. 160. 161.  
 Polygonometrie 95.  
 Pond 127.  
 Posidonius 93.  
 Positionswinkel 127.  
 Powalky 113.  
 Präzession 157. 158. 159.  
 Präzisionsnivellement 155.  
 Primum Mobile 119.  
 Prismeninstrumente 44. 47. 48.  
 Prismenkreis 46.  
 Ptolemäisches Welt-system 119.  
 Ptolemäus 8. 48. 49. 84. 119. 121. 131. 133. 134. 137. 157.  
 Puiseux 113.  
 Punctum aequans 137. 142.  
 Pythagoras 27. 61.  
 Pythagoreer 7. 61. 120.  
**Quadrat** (geometrisch.) 49.  
 Quadrant 28.  
 Quadraturen 26. [90.  
 Quecksilberbarometer  
 Räderuhr 38.  
 Radius astronomicus 50.  
 Radiusvektor 131. 142.  
 Rechtläufige Bewegung 27.  
 Referenzellipsoid 154. 155.  
 Reflektor 52.  
 Reflexion (totale) 45.  
 Refraktion 79. 115. 116. 117.  
 Refraktion (astronomische) 115.  
 Refraktion (terrestri-  
 sche) 115.  
 Refraktionskurve 115.  
 Refraktionstafel 117.  
 Refraktor 52.  
 Regiomontanus 50.  
 117.  
 Reimann 42.  
 Rektaszension 31.  
 Retrograde Bewegung 27. 138.  
 Revolution der Erde 126. 127. 128. 129. 130. 131.  
 Reymarus Ursus 120.  
 Rheticus 94.  
 Riccioli 96. 105.  
 Richelieu (Kardinal) 71.  
 Richer 84. 96. 148. 150.  
 Ringförmige Sonnen-  
 finsternis 69.  
 Ringsumschattig 69.  
 Robertus Anglicus 91.  
 Römer 44. 128.  
 Rotation der Erde 121. 122. 123. 124. 125. 126.  
 Rotationsellipsoid (ab-  
 geplattetes) 96. 98.  
 Rotationsellipsoid (ver-  
 längertes) 96.  
 Rückgang der Äquinok-  
 tialpunkte 158.  
 Rückläufige Bewegung 27. 138.  
 van den Sande  
 Bakhuyzen 161.  
 Sanduhr 38.  
 Sappho (Planet) 114.  
 Saros 133.  
 Saturn (Planet) 27. 119. 120.  
 Schattenmessung 76.  
 Schattenverhältnisse 67.  
 Scheitelpunkt 13.  
 Schiaparelli 119. 161.  
 Schiefe der Ekliptik 25. 156. 158.  
 Schleifenbildung 27. 138. 139.  
 Schleppender Nonius 42.  
 Schmidt 130.  
 Schnauder 80.  
 Schubert 103.  
 Schwere 148. 150. 153.  
 Schwereprofil 155.  
 Schwingkraft 150. 153.  
 Schyblechtigkait 92.  
 Secchi 127.  
 Seehöhe 89.  
 Seeliger 147.  
 Seewarte (deutsche) 88.  
 Sekundenpendel 148.  
 Sichtbarkeitsbogen 22. 34.  
 Sichtbarkeitsstreifen (b. Finsternissen) 133.  
 Siedetemperatur 91.  
 Sire 159.  
 Sirius 128.  
 Skaphion 82.  
 Snellius 94. 95. 96. 116.  
 Soldner 82.  
 Solstitium 23.  
 Sommersanfang 134.  
 Sommer-solstitium 23.  
 Sommersonnenwende 23.  
 Sonnenbewegung (scheinbare) 23. 24.  
 Sonnenbewegung (wahre) 36.  
 Sonnendistanz der Pla-  
 neten 141. 142.  
 Sonnenfinsternis 85. 131. 132.  
 Sonnenparallaxe 110. 111. 112. 113. 114.  
 Sonnenstand (höchster) 76.  
 Sonntag (mittlerer) 36.  
 Sonntag (wahrer) 36.  
 Sonnenuhr 38. 39. 40.  
 Sonnenuhrkunde 38.  
 Sonnenwende 23.  
 Sonnenzeit (mittlere) 35.  
 Sonnenzeit (wahre) 35.  
 Sphaera obliqua 56.  
 Sphaera parallela 56. 57. 58.  
 Sphaera primi mobilis 119.  
 Sphaera recta 56. 57.

- Sphärität 64.  
 Sphäroid 101.  
 Spiegelfernrohr 52.  
 Spiegelinstrumente 44.  
 Spiegelkreis 46.  
 Spiegeloktant 46.  
 Spiegelsextant 46.  
 Spiralbahnen 143.  
 Stabilität des Sonnensystemes 156.  
 Stadion 93.  
 Stampfer 115.  
 Stationärwerden 27. 77.  
 137. 138.  
 Sternbilder 21.  
 v. Sterneck 155.  
 Sternglobus 24.  
 Sternschnuppen 82.  
 Sterntag 36. 149.  
 Sternweite 128.  
 Sternzeit 35.  
 Störungen der Planeten 156.  
 Strahlenbrechung 115.  
 Strichrose (nautische) 18.  
 v. Struve (O.) 127.  
 " (W.) 127.  
 130. 144. 152.  
 Stundenlinie 39.  
 Stundenwinkel 32.  
 Stundenzone 72.  
 Stylus 39.  
 Südpol (der Erde) 66.  
 Südpol (des Himmels) 17.  
 Südpunkt 17.  
 Sulpicius Gallus 133.  
 Svanberg, 99.  
 System des Äquators 31.  
 " der Ekliptik 31.  
 " des Horizontes 31.  
 Szygijen 26.  
 Szintillieren (d. Sterne) 21.  
 Tagbogen 22. 23.  
 Tägliche Bewegung 119.  
 121.  
 Tag- und Nachtgleiche 23.  
 Talcott 73. 80. 159.  
 Taschenuhr 38.  
 Temperatur und Refraktion 117.  
 Terraindarstellung 6.  
 Thales 133.  
 Theodolith 43.  
 Theon (v. Alexandrien) 65.  
 Thermometr. Höhenmessung 90. 91.  
 Tierkreiszone (Zodidakus) 27.  
 Time-Keeper 88.  
 Toise 96.  
 Totale Finsternis 133.  
 Trajanus 8.  
 Trajektorie 138.  
 Transformation der Koordinaten 33.  
 Triangulation 94.  
 Trigonometrische Berechnung der Finsternisse 133.  
 Trigonometr. Höhenmessung 90.  
 Triquetrum 49.  
 Tropische Zone 66.  
 Tschu-kong 76.  
 Tychonisches Welt-system 120.  
 Überschüssige Bestimmungen 83.  
 Uhren (tragbare) 83. 88.  
 Uhrvergleichung (telegraphische) 82.  
 Umdrehungsellipsoid 96. 152.  
 Umlaufszeit 141. 142.  
 Ungleichheit (erste) 135.  
 " (zweite) 137.  
 Unsichtbarkeitsbogen 22.  
 Untere Planeten 27.  
 Untergang 13. 19. 60.  
 Ursprungspunkt 14.  
 Ursprung (des Koordinatensystemes) 28.  
 Vasco da Gama 85.  
 Venus (Planet) 27. 111.  
 112. 113. 114. 119. 120.  
 Venusdurchgang 111.  
 112. 113. 114.  
 Venusparallaxe 112. 114.  
 Veränderung der Polhöhe 157. 159. 160.  
 161. 162.  
 Vernier 41.  
 Vertikal (erster) 20.  
 Vertikalebene 13.  
 Vertikalkreis 13. 32.  
 Vertikallinie 13.  
 Vespucci 85.  
 Viertel (erstes) 26. 110.  
 " (letztes) 26.  
 Viktoria (Planet) 114.  
 Virgilius (von Salzburg) 8. 67.  
 Vollmond 26.  
 Volumen 145.  
 Vortragender Nonius 42.  
 Wagen (großer) 17.  
 Wahrscheinlichkeitsrechnung 83.  
 Walther 38. 117.  
 Wandelsterne 22.  
 Wasserhorizont 76.  
 Wasseruhr 33.  
 Weltachse 16.  
 Weltsysteme 118. 119.  
 120. 121. 122. 123. 124.  
 125. 126. 127. 128.  
 Wendekreis d. Krebses 23. 66.  
 Wendekreis des Steinbockes 23. 66.  
 Werner 85.  
 Westen 14.  
 Westpunkt 14.  
 Wetzel 130.  
 Wilkes 82.  
 Winkelmessung (bei Gradmessungen) 94.  
 Winkel zwischen Sonnen- und Mondbahn 25.  
 Wintersanfang 134.  
 Wintersolstitium 23.  
 Wintersonnenwende 23.  
 Wislicenus 130.  
 Wolf 112.  
 Zallinger zum Thurn 104.  
 Zeiger (der Sonnenuhr) 82.  
 Zeiteinteilung 37.  
 Zeitgleichung 37. 38.



|                                   |                                     |                                            |
|-----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------|
| Zeitübertragung (elektrische) 81. | Zenitteleskop 79.                   | Zoneneinteilung 66.                        |
| Zenit 13.                         | Zentralbureau (d. Gradmessung) 152. | Zyklische Berechnung der Finsternisse 133. |
| Zenitalparallaxe 107.             | Zentrierte Linsen 50.               | Zyklische Kurven (der Planeten) 138.       |
| Zenitdistanz 32.                  | Zentrifugalkraft 149.               | Zylindrische Erdgestalt 60. 61.            |
| Zenitkamera 80.                   | Zirkumpolarsterne 19.               |                                            |
| Zenitsektor 44.                   | 20. 55. 56. 75. 76.                 |                                            |

## Verzeichnis der erschienenen Bände.

- Ackerbau- u. Pflanzenbaulehre** von Dr. Paul Rippert in Berlin u. Ernst Langenbeck in Bochum. Nr. 232.
- Agrikulturchemische Kontrollwesen, Das**, von Dr. Paul Krißche in Göttingen. Nr. 304.
- Akustik**. Theoret. Physik I. Teil: Mechanik u. Akustik. Von Dr. Gust. Jäger, Prof. an der Univerf. Wien. Mit 19 Abbild. Nr. 76.
- **Musikalische**, v. Dr. Karl L. Schäfer, Dozent an der Univerf. Berlin. Mit 35 Abbild. Nr. 21.
- Algebra**. Arithmetik u. Algebra v. Dr. H. Schubert, Prof. a. d. Gelehrtenfchule d. Johanneums in Hamburg. Nr. 47.
- Alpen, Die**, von Dr. Rob. Sieger, Prof. an der Univerfität und an der Exportakademie des k. k. Handelsmuseums in Wien. Mit 19 Abbild. u. 1 Karte. Nr. 129.
- Altertümer, Die deutschen**, v. Dr. Franz Suhse, Direktor d. städt. Museums in Braunschweig. Mit 70 Abb. Nr. 124.
- Altertumskunde, Griechische**, von Prof. Dr. Rich. Malsch, neubearb. von Rektor Dr. Franz Pohlhammer. Mit 9 Vollbildern. Nr. 16.
- **Römische**, von Dr. Leo Bloch in Wien. Mit 8 Vollb. Nr. 45.
- Analyse, Techn.-Chem.**, von Dr. G. Lunge, Prof. a. d. Eidgen. Polytechn. Schule i. Zürich. Mit 16 Abb. Nr. 195.
- Analysis, Höhere, I:** Differentialrechnung. Von Dr. Friedr. Junfer, Prof. am Karls-gymnasium in Stuttgart. Mit 68 Fig. Nr. 87.
- — — Repetitorium und Aufgabensammlung 3. Differentialrechnung v. Dr. Friedr. Junfer, Prof. am Karls-gymnasium in Stuttgart. Mit 46 Fig. Nr. 146.
- — — II: Integralrechnung. Von Dr. Friedr. Junfer, Prof. am Karls-gymnasium in Stuttgart. Mit 89 Fig. Nr. 88.
- Analysis, Höhere**, Repetitorium und Aufgabensammlung zur Integralrechnung von Dr. Friedr. Junfer, Prof. am Karls-gymnasium in Stuttgart. Mit 50 Fig. Nr. 147.
- **Niedere**, von Prof. Dr. Benedikt Sporer in Ehingen. Mit 5 Fig. Nr. 53.
- Arbeiterfrage, Die gewerbliche**, von Werner Sombart, Prof. an der Univ. Breslau. Nr. 209.
- Arbeiterversicherung, Die**, von Dr. Alfred Manes in Berlin. Nr. 267.
- Arithmetik und Algebra** von Dr. Herm. Schubert, Prof. an der Gelehrtenfchule des Johanneums in Hamburg. Nr. 47.
- — — Beispielsammlung zur Arithmetik u. Algebra v. Dr. Hermann Schubert, Prof. an der Gelehrtenfchule des Johanneums in Hamburg. Nr. 48.
- Ästhetik, Allgemeine**, von Prof. Dr. Max Diez, Lehrer an d. Kgl. Akademie der bildenden Künfte in Stuttgart. Nr. 300.
- Astronomie**. Größe, Bewegung und Entfernung der Himmelskörper von A. F. Möbius, neu bearb. v. Dr. W. F. Wislicenus, Prof. a. d. Univerf. Straßburg. Mit 36 Abb. u. 1 Sternk. Nr. 11.
- Atrophysik**. Die Beschaffenheit der Himmelskörper von Dr. Walter F. Wislicenus, Prof. an der Univerfität Straßburg. Mit 11 Abbild. Nr. 91.
- Aufgabensammlg. 1. Analyt. Geometrie d. Ebene** v. O. Th. Bürklen, Prof. am Realgymnasium in Schw. Gmünd. Mit 32 Figuren. Nr. 276.
- — — **2. Raum** v. O. Th. Bürklen, Prof. am Realgymnasium in Schw. Gmünd. Mit 8 Fig. Nr. 309.
- **Physikalische**, v. G. Mahler, Prof. der Mathem. u. Physik am Gymnas. in Ulm. Mit d. Resultaten. Nr. 243.
- Aufsatzentwürfe** von Oberstudienrat Dr. L. W. Straub, Rektor des Eberhard-Ludwigs-Gymnasiums in Stuttgart. Nr. 17.

# Sammlung Götschen Je in elegantem Leinwandband 80 Pf.

G. J. Götschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

- Ausgleichsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate** von Wilh. Weitbrecht, Prof. der Geodäsie in Stuttgart. Mit 15 Figuren und 2 Tafeln. Nr. 302.
- Baukunst, Die des Abendlandes** von Dr. K. Schäfer, Assistent am Gewerbemuseum in Bremen. Mit 22 Abbild. Nr. 74.
- Getriebskraft, Die zweckmäßigste**, von Friedrich Barth, Obergeringieur in Nürnberg. 1. Teil: Die mit Dampf betriebenen Motoren nebst 22 Tabellen über ihre Anschaffungs- und Betriebskosten. Mit 14 Abbild. Nr. 224.
- 2. Teil: Verschiedene Motoren nebst 22 Tabellen über ihre Anschaffungs- und Betriebskosten. Mit 29 Abbild. Nr. 225.
- Bewegungsspiele** von Dr. E. Kohlrausch, Prof. am Kgl. Kaiser Wilhelms-Gymnasium zu Hannover. Mit 14 Abbild. Nr. 96.
- Biologie der Pflanzen** von Dr. W. Migula, Prof. an der Forstakademie Eisenach. Mit 50 Abbild. Nr. 127.
- Biologie der Tiere I: Entstehung u. Weiterbild. d. Tierwelt, Beziehungen zur organischen Natur** v. Dr. Heinr. Simroth, Prof. an der Universität Leipzig. Mit 33 Abbild. Nr. 131.
- II: Beziehungen der Tiere 3 organ. Natur von Dr. Heinr. Simroth, Prof. an der Univerf. Leipzig. Mit 35 Abbild. Nr. 132.
- Gleiberei. Textil-Industrie III: Wäscherei, Bleicherei, Färberei und ihre Hilfsstoffe** von Wilhelm Massot, Lehrer an der Preuß. höh. Fachschule f. Textilindustrie in Krefeld. Mit 28 Fig. Nr. 186.
- Brauerwesen I: Mälzerei** von Dr. Paul Dreverhoff, Direktor d. Brauer- u. Mälzerschule zu Grimma. Mit 16 Abbild. Nr. 303.
- Buchführung** in einfachen und doppelten Posten von Rob. Stern, Oberlehrer der Öffentl. Handelslehranst. u. Doz. d. Handelshochschule 3. Leipzig. Mit vielen Formularen. Nr. 115.
- Buddha** von Prof. Dr. Edmund Hardy. Nr. 174.
- Burgenkunde, Abriss der**, von Hofrat Dr. Otto Piper in München. Mit 30 Abbild. Nr. 119.
- Chemie, Allgemeine und physikalische**, von Dr. Max Rudolphi, Prof. a. d. Techn. Hochschule in Darmstadt. Mit 22 Fig. Nr. 71.
- **Analytische**, von Dr. Johannes Hoppe. I: Theorie und Gang der Analyse. Nr. 247.
- II: Reaktion der Metalloide und Metalle. Nr. 248.
- **Anorganische**, von Dr. Jos. Klein in Mannheim. Nr. 37.
- siehe auch: Metalle. — Metalloide.
- Chemie, Geschichte der**, von Dr. Hugo Bauer, Assistent am chem. Laboratorium der Kgl. Technischen Hochschule Stuttgart. I: Von den ältesten Zeiten bis zur Verbrennungstheorie von Lavoisier. Nr. 264.
- II: Von Lavoisier bis zur Gegenwart. Nr. 265.
- **der Kohlenstoffverbindungen** von Dr. Hugo Bauer, Assistent am chem. Laboratorium der Kgl. Techn. Hochschule Stuttgart. I. II: Aliphatische Verbindungen. 2 Teile. Nr. 191. 192.
- III: Kohlenstoffliche Verbindungen. Nr. 193.
- IV: Heterocyclische Verbindungen. Nr. 194.
- **Organische**, von Dr. Jos. Klein in Mannheim. Nr. 38.
- **Physiologische**, von Dr. med. A. Legahn in Berlin. I: Assimilation. Mit 2 Tafeln. Nr. 240.
- II: Dissimilation. Mit einer Tafel. Nr. 241.
- Chemisch-Technische Analyse** von Dr. G. Lunge, Prof. an der Eidgenöss. Polytechn. Schule in Zürich. Mit 16 Abbild. Nr. 195.
- Dampfkessel, Die**. Kurzgefaßtes Lehrbuch mit Beispielen für das Selbststudium u. d. praktischen Gebrauch von Friedrich Barth, Obergeringieur in Nürnberg. Mit 67 Fig. Nr. 9.



# Sammlung Götschen

Je in elegantem  
Leinwandband

80 Pf.

G. J. Götschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

**Dampfmaschine, Die.** Kurzgefaßtes Lehrbuch m. Beispielen für das Selbststudium und den prakt. Gebrauch von Friedrich Barth, Obergeringieur in Nürnberg. Mit 48 Fig. Nr. 8.

**Dampfturbinen, Die,** ihre Wirkungsweise und Konstruktion von Ingenieur Hermann Wilda in Bremen. Mit 89 Abbild. Nr. 274.

**Dichtungen a. mittelhochdeutscher Frühzeit.** In Auswahl m. Einltg. u. Wörterb. herausgeb. v. Dr. Herm. Janßen, Direktor der Königin Luise-Schule in Königsberg i. Pr. Nr. 137.

**Dietrichpen.** Kubrun u. Dietrichpen. Mit Einleitung und Wörterbuch von Dr. O. L. Fricke, Prof. an der Univers. Münster. Nr. 10.

**Differentialrechnung** von Dr. Frdr. Junfer, Prof. a. Karlsghmnasium in Stuttgart. Mit 68 Fig. Nr. 87.

— **Repetitorium u. Aufgabensammlung z. Differentialrechnung** von Dr. Frdr. Junfer, Prof. am Karlsghmnasium in Stuttgart. Mit 46 Fig. Nr. 146.

**Eddalieder** mit Grammatik, Übersetzung und Erläuterungen von Dr. Wilhelm Ranisch, Gymnasial-Oberlehrer in Osnabrück. Nr. 171.

**Eisenhüttenkunde** von A. Krauß, dipl. Hütteningen. I. Teil: Das Roheisen. Mit 17 Fig. u. 4 Tafeln. Nr. 152.

— II. Teil: Das Schmiedeeisen. Mit 25 Figuren und 5 Tafeln. Nr. 153.

**Elektrizität.** Theoret. Physik III. Teil: Elektrizität u. Magnetismus. Von Dr. Gust. Jäger, Prof. a. d. Univers. Wien. Mit 33 Abbildgn. Nr. 78.

**Elektrochemie** von Dr. Heinr. Danneel, Privatdozent in Breslau. I. Teil: Theoretische Elektrochemie und ihre physikalisch-chemischen Grundlagen. Mit 18 Fig. Nr. 252.

**Elektrotechnik.** Einführung in die moderne Gleich- und Wechselstromtechnik von J. Herrmann, Professor der Elektrotechnik an der Kgl. Techn. Hochschule Stuttgart. I.: Die physikalischen Grundlagen. Mit 47 Fig. Nr. 196.

**Elektrotechnik II:** Die Gleichstromtechnik. Mit 74 Fig. Nr. 197.

— III: Die Wechselstromtechnik. Mit 109 Fig. Nr. 198.

**Epigonen, Die, des höfischen Epos.** Auswahl aus deutschen Dichtungen des 13. Jahrhunderts von Dr. Viktor Junf, Aktuaris der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien. Nr. 289.

**Erdmagnetismus, Erdstrom, Polarlicht** von Dr. A. Rippoldt jr., Mitglied des Königl. Preussischen Meteorologischen Instituts zu Potsdam. Mit 14 Abbild. und 3 Taf. Nr. 175.

**Ethik** von Professor Dr. Thomas Achelis in Bremen. Nr. 90.

**Exkursionsflora von Deutschland** zum Bestimmen der häufigeren in Deutschland wildwachsenden Pflanzen von Dr. W. Mligula, Professor an der Forstakademie Eisenach. I. Teil. Mit 50 Abbild. Nr. 268.

— 2. Teil. Mit 50 Abbild. Nr. 269.

**Familienrecht.** Recht des Bürgerlichen Gesetzbuches. Viertes Buch: Familienrecht von Dr. Heinrich Tige, Prof. a. d. Univ. Göttingen. Nr. 305.

**Färberei.** Textil-Industrie III: Wäscherei, Bleicherei, Färberei u. ihre Hilfsstoffe v. Dr. Wilh. Massot, Lehrer a. d. Preuß. höh. Fachschule f. Textilindustrie i. Krefeld. Nr. 28 Fig. Nr. 186.

**Feldgeschütz, Das moderne, I:** Die Entwicklung des Feldgeschützes seit Einführung des gezogenen Infanteriegewehrs bis einschließlich der Erfindung des rauchlosen Pulvers, etwa 1850 bis 1890, von Oberstleutnant W. Heydenreich, Militärlehrer an der Militärtechn. Akademie in Berlin. Mit 1 Abbild. Nr. 306.

— II: Die Entwicklung des heutigen Feldgeschützes auf Grund der Erfindung des rauchlosen Pulvers, etwa 1890 bis zur Gegenwart, von Oberstleutnant W. Heydenreich, Militärlehrer an der Militärtechn. Akademie in Berlin. Mit 11 Abbild. Nr. 307.

# Sammlung Götschen

Je in elegantem  
Leinwandband

80 Pf.

G. J. Götschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

**Fernsprechwesen, Das**, von Dr. Ludwig Kellstab in Berlin. Mit 47 Fig. und 1 Tafel. Nr. 155.

**Festigkeitslehre** von W. Hauber, Diplom-Ingenieur. Mit 56 Fig. Nr. 288.

**Filzfabrikation, Textil-Industrie II:** Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation von Prof. Max Gürtler, Direktor der Königl. Techn. Zentralstelle für Textil-Industrie zu Berlin. Mit 27 Fig. Nr. 185.

**Finanzwissenschaft v. Präsident Dr. R. van der Borcht** in Berlin. Nr. 148.

**Fischerei und Fischzucht v. Dr. Karl Eckstein**, Prof. an der Forstakademie Eberswalde, Abteilungsdirigent bei der Hauptstation des forstlichen Versuchswesens. Nr. 159.

**Formelsammlung, Mathemat., u. Repetitorium d. Mathematik**, enth. die wichtigsten Formeln und Lehrsätze d. Arithmetik, Algebra, algebraischen Analysis, ebenen Geometrie, Stereometrie, ebenen u. sphärischen Trigonometrie, math. Geographie, analyt. Geometrie d. Ebene u. d. Raumes, d. Different.- u. Integralrechn. v. O. Th. Birklen, Prof. am Kgl. Realgymn. in Schw.-Gmünd. Mit 18 Fig. Nr. 51.

— **Physikalische**, von G. Mahler, Prof. a. Gymn. in Ulm. Mit 65 Fig. Nr. 136.

**Forstwissenschaft** von Dr. Ad. Schwappach, Professor an der Forstakademie Eberswalde, Abteilungsdirigent bei der Hauptstation des forstlichen Versuchswesens. Nr. 106.

**Fremdwort, Das, im Deutschen** von Dr. Rud. Kleinpaul in Leipzig. Nr. 55.

**Fremdwörterbuch, Deutsches**, von Dr. Rud. Kleinpaul in Leipzig. Nr. 273.

**Gardinenfabrikation, Textil-Industrie II:** Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation von Prof. Max Gürtler, Direktor der Königl. Technischen Zentralstelle für Textil-Industrie zu Berlin. Mit 27 Fig. Nr. 185.

**Geodäsie** von Dr. C. Reinherz, Prof. an der Techn. Hochschule Hannover. Mit 66 Abbild. Nr. 102.

**Geographie, Astronomische**, von Dr. Siegm. Günther, Prof. an der Techn. Hochschule in München. Mit 52 Abbild. Nr. 92.

— **Physische**, von Dr. Siegm. Günther, Prof. an der Königl. Techn. Hochschule in München. Mit 32 Abbild. Nr. 26.

— **s. auch:** Landestunde. — Länderkunde.

**Geologie** von Prof. Dr. Eberh. Fraas in Stuttgart. Mit 16 Abbild. und 4 Taf. mit über 50 Fig. Nr. 13.

**Geometrie, Analytische, der Ebene** von Prof. Dr. M. Simon in Strassburg. Mit 57 Fig. Nr. 65.

— **Aufgabensammlung zur Analytischen Geometrie der Ebene** von O. Th. Birklen, Prof. am Kgl. Realgymnasium in Schwab.-Gmünd. Mit 32 Fig. Nr. 256.

— **Analytische, des Raumes** von Prof. Dr. M. Simon in Strassburg. Mit 28 Abbild. Nr. 89.

— **Aufgabensammlung z. Analyt. Geometrie d. Raumes** von O. Th. Birklen, Prof. a. Realgymn. i. Schwab.-Gmünd. M. 8 Fig. Nr. 309.

— **Darstellende**, von Dr. Robert Haubner, Prof. an der Univ. Jena. I. Mit 110 Fig. Nr. 142.

— **Ebene**, von G. Mahler, Prof. am Gymnasium in Ulm. Mit 111 zweifarb. Fig. Nr. 41.

— **Projektive**, in synthet. Behandlung von Dr. Karl Doehlemann, Prof. an der Universität München. Mit 91 Fig. Nr. 72.

**Geschichte, Badische**, von Dr. Karl Brunner, Prof. am Gymnasium in Pforzheim und Privatdozent der Geschichte an der Techn. Hochschule in Karlsruhe. Nr. 230.

— **Bayerische**, von Dr. Hans Odel in Augsburg. Nr. 160.

— **des Byzantinischen Reiches** von Dr. K. Roth in Kempten. Nr. 190.

— **Deutsche, I: Mittelalter** (bis 1519) von Dr. F. Kurze, Prof. am Kgl. Luisengymn. in Berlin. Nr. 33.



# Sammlung Götschen Je in elegantem Leinwandband 80 Pf.

6. J. Götschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

- Geschichte, Deutsche II: Zeitalter der Reformation und der Religionskriege** (1500—1648) von Dr. F. Kurze, Professor am Königl. Luisengymnasium in Berlin. Nr. 34.
- **III: Vom Westfälischen Frieden bis zur Auflösung des alten Reichs** (1648—1806) von Dr. F. Kurze, Prof. am Kgl. Luisengymnasium in Berlin. Nr. 35.
- siehe auch: Quellentunde.
- **Französische**, von Dr. R. Sternfeld, Prof. a. d. Univerf. Berlin. Nr. 85.
- **Griechische**, von Dr. Heinrich Swoboda, Prof. an der deutschen Univerf. Prag. Nr. 49.
- **des 19. Jahrhunderts v. Oskar Jäger**, o. Honorarprofessor an der Univerf. Bonn. 1. Bdchn.: 1800—1852. Nr. 216.
- 2. Bdchn.: 1853 bis Ende d. Jahrh. Nr. 217.
- **Israels** bis auf die griech. Zeit von Lic. Dr. J. Benzinger. Nr. 231.
- **Lothringens**, von Dr. Herm. Derichsweiler, Geh. Regierungsrat in Straßburg. Nr. 6.
- **des alten Morgenlandes** von Dr. Fr. Hommel, Prof. a. d. Univerf. München. M. 6 Bild. u. 1 Kart. Nr. 43.
- **Oesterreichische, I: Von der Urzeit bis zum Tode König Albrechts II.** (1439) von Prof. Dr. Franz von Krones, neubearbeitet von Dr. Karl Uhlirz, Prof. an der Univ. Graz. Mit 11 Stammtaf. Nr. 104.
- **II: Von 1526 bis zur Gegenwart** von Hofrat Dr. Franz von Krones, Prof. a. d. Univerf. Graz. Nr. 105.
- **Römische**, von Realgymnasial-Dir. Dr. Jul. Koch in Grunewald. Nr. 19.
- **Russische**, v. Dr. Wilh. Reeb, Oberl. am Obergymnasium in Mainz. Nr. 4.
- **Sächsische**, von Professor Otto Kaemmel, Rektor des Nikolaigymnasiums zu Leipzig. Nr. 100.
- **Schweizerische**, von Dr. K. Dändliker, Prof. a. d. Univ. Zürich. Nr. 188.
- **Spanische**, von Dr. Gustav Diercks. Nr. 266.
- **der Chemie** siehe: Chemie.
- Geschichte der Malerei** siehe: Malerei.
- **der Mathematik** s.: Mathematik.
- **der Musik** siehe: Musik.
- **der Pädagogik** siehe: Pädagogik.
- **der Physik** siehe: Physik.
- **des deutschen Romans** s.: Roman.
- **der deutschen Sprache** siehe: Grammatik, Deutsche.
- **des deutschen Unterrichtswesens** siehe: Unterrichtswesen.
- Geschichtswissenschaft, Einleitung in die**, von Dr. Ernst Bernheim, Prof. an der Univerf. Greifswald. Nr. 270.
- Gesetzbuch, Bürgerliches**. Recht des Bürgerlichen Gesetzbuches, viertes Buch: Familienrecht, von Dr. Heinr. Tige, Prof. an d. Univerf. Göttingen. Nr. 305.
- Gesundheitslehre**. Der menschliche Körper, sein Bau und seine Tätigkeiten, von E. Rebmann, Oberschulrat in Karlsruhe. Mit Gesundheitslehre von Dr. med. H. Seiler. Mit 47 Abb. u. 1 Taf. Nr. 18.
- Gewerbewesen** von Werner Sombart, Prof. an d. Univerf. Breslau. I. II. Nr. 203. 204.
- Gewichtswesen**. Maß-, Münz- und Gewichtswesen von Dr. Aug. Blind, Prof. an der Handelsschule in Köln. Nr. 283.
- Gleichstrommaschine, Die**, von C. Kitzbrunner, Ingenieur und Dozent für Elektrotechnik an der Municipal School of Technology in Manchester. Mit 78 Fig. Nr. 257.
- Gletscherkunde** von Dr. Friz Macháček in Wien. Mit 5 Abbild. im Text und 11 Taf. Nr. 154.
- Gottfried von Straßburg**. Hartmann von Aue, Wolfram von Eschenbach u. Gottfried von Straßburg. Auswahl aus dem höf. Epos mit Anmerkungen und Wörterbuch von Dr. K. Marold, Prof. am Kgl. Friedrichstollegium zu Königsberg i. Pr. Nr. 22.



# Sammlung Götschen

Je in elegantem  
Leinwandband

80 Pf.

G. J. Götschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

**Grammatik, Deutsche, und kurze Geschichte der deutschen Sprache** von Schulrat Prof. Dr. O. Lyon in Dresden. Nr. 20.

— **Griechische, I: Formenlehre** von Dr. Hans Melzer, Prof. an der Klosterschule zu Maulbronn. Nr. 117.

— **II: Bedeutungslehre und Syntax** von Dr. Hans Melzer, Prof. an der Klosterschule zu Maulbronn. Nr. 118.

— **Lateinische. Grundriß der lateinischen Sprachlehre** von Prof. Dr. W. Dotzsch in Magdeburg. Nr. 82.

— **Mittelhochdeutsche. Der Nibelunge Nôt in Auswahl und mittelhochdeutsche Grammatik mit kurzem Wörterbuch** von Dr. W. Goltzer, Prof. an der Univerf. Rostod. Nr. 1.

— **Russische, von Dr. Erich Berneker, Prof. an der Univerf. Prag.** Nr. 66.

— siehe auch: Russisches Gesprächsbuch. — Lesebuch.

**Handelskorrespondenz, Deutsche, von Prof. Th. de Beauq, Officier de l'Instruction Publique.** Nr. 182.

— **Englische, von E. E. Whitfield, M. A., Oberlehrer an King Edward VII Grammar School in King's Lynn.** Nr. 237.

— **Französ. von Prof. Th. de Beauq, Officier de l'Instruction Publique.** Nr. 183.

— **Italienische, von Prof. Alberto de Beauq, Oberlehrer am Kgl. Institut S. S. Annunziata in Florenz.** Nr. 219.

— **Spanische, von Dr. Alfredo Nadal de Mariejurrena.** Nr. 295.

**Handelspolitik, Auswärtige, von Dr. Heinr. Sieveking, Prof. an der Univerf. Marburg.** Nr. 215.

**Handelswesen, Das, von Dr. Wilh. Legis, Prof. a. d. Univerf. Göttingen. I: Das Handelspersonal und der Warenhandel.** Nr. 296.

— **II: Die Effektenbörse und die innere Handelspolitik.** Nr. 297.

**Harmonielehre von A. Halm. Mit vielen Notenbeilagen.** Nr. 120.

**Hartmann von Aue, Wolfram von Eschenbach und Gottfried von Straßburg.** Auswahl aus dem höfischen Epos mit Anmerkungen und Wörterbuch von Dr. K. Marold, Prof. am Königlichen Friedrichskollegium zu Königsbergi. Pr. Nr. 22.

**Hauptliteraturen, Die, d. Orients** v. Dr. M. Haberlandt, Privatdoz. a. d. Univerf. Wien. I. II. Nr. 162. 163.

**Heldensage, Die Deutsche, von Dr. Otto Luitpold Jiriczek, Prof. an der Univerf. Münster.** Nr. 32.

— siehe auch: Mythologie.

**Industrie, Anorganische Chemische, v. Dr. Gust. Rauter in Charlottenburg. I: Die Leblancsodaindustrie und ihre Nebenzweige.** Mit 12 Taf. Nr. 205.

— **II: Salinenwesen, Kalisalze, Düngerindustrie und Verwandtes.** Mit 6 Taf. Nr. 206.

— **III: Anorganische Chemische Präparate.** Mit 6 Tafeln. Nr. 207.

— **der Silikate, der künstl. Bausteine und des Mörtels. I: Glas- und keramische Industrie** von Dr. Gustav Rauter in Charlottenburg. Mit 12 Taf. Nr. 233.

— **II: Die Industrie der künstlichen Bausteine und des Mörtels.** Mit 12 Taf. Nr. 234.

**Integralrechnung** von Dr. Friedr. Junker, Prof. am Karlsghymn. in Stuttgart. Mit 89 Fig. Nr. 88.

**Integralrechnung. Repetitorium und Aufgabensammlung zur Integralrechnung** von Dr. Friedrich Junker, Prof. am Karlsghymn. in Stuttgart. Mit 50 Fig. Nr. 147.

**Gartenkunde, geschichtlich dargestellt** von E. Gelcich, Direktor der k. k. Nautischen Schule in Lussinpiccolo und F. Sauter, Prof. am Realghymn. in Ulm, neu bearb. von Dr. Paul Dinse, Assistent der Gesellschaft für Erdkunde in Berlin. Mit 70 Abbild. Nr. 30.

# Sammlung Götschen

In elegantem  
Leinwandband

80 Pf.

G. J. Götschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

**Kirchenlied.** Martin Luther, Thom. Murner, und das Kirchenlied des 16. Jahrhunderts. Ausgewählt und mit Einleitungen und Anmerkungen versehen von Prof. G. Berlit, Oberlehrer am Nikolaigymnasium zu Leipzig. Nr. 7.

**Klimakunde I:** Allgemeine Klimalehre von Prof. Dr. W. Köppen, Meteorologe der Seewarte Hamburg. Mit 7 Taf. und 2 Fig. Nr. 114.

**Kolonialgeschichte** von Dr. Dietrich Schäfer, Prof. der Geschichte an der Univers. Berlin. Nr. 156.

**Kompositionslehre.** Musikalische Formenlehre von Stephan Krehl. I. II. Mit vielen Notenbeispielen. Nr. 149. 150.

**Kontrollwesen, Das agrikulturchemische,** von Dr. Paul Krijsche in Göttingen. Nr. 304.

**Körper, der menschliche, sein Bau und seine Tätigkeiten,** von E. Rebmann, Oberschulrat in Karlsruhe. Mit Gesundheitslehre von Dr. med. H. Seiler. Mit 47 Abbild. und 1 Taf. Nr. 18.

**Kristallographie** von Dr. W. Brühns, Prof. an der Univers. Straßburg. Mit 190 Abbild. Nr. 210.

**Kudrun und Dietrichsphen.** Mit Einleitung und Wörterbuch von Dr. O. E. Jiriczek, Prof. an der Univers. Münster. Nr. 10.

— siehe auch: *Leben, Deutsches, im 12. Jahrhundert.*

**Kultur, Die, der Renaissance.** Gestaltung, Forschung, Dichtung von Dr. Robert S. Arnold, Privatdozent an der Univers. Wien. Nr. 189.

**Kulturgeschichte, Deutsche,** von Dr. Reinh. Günther. Nr. 56.

**Künste, Die graphischen,** von Carl Kampmann, Fachlehrer a. d. k. k. Graphischen Lehr- und Versuchsanstalt in Wien. Mit zahlreichen Abbild. und Beilagen. Nr. 75.

**Kurzschrift** siehe: *Stenographie.*

**Länderkunde von Europa** von Dr. Franz Heiderich, Prof. am Francisco-Josephinum in Mödling. Mit 14 Textkärtchen und Diagrammen und einer Karte der Alpenenteilung. Nr. 62.

— **der außereuropäischen Erdteile** von Dr. Franz Heiderich, Prof. a. Francisco-Josephinum in Mödling. Mit 11 Textkärtchen u. Profil. Nr. 63.

**Landeskunde von Baden** von Prof. Dr. O. Kienitz in Karlsruhe. M. Profil, Abbild. und 1 Karte. Nr. 199.

— **des Königreichs Bayern** von Dr. W. Götz, Prof. an der Kgl. Techn. Hochschule München. Mit Profilen, Abbild. u. 1 Karte. Nr. 176.

— **von Britisch-Nordamerika** von Prof. Dr. A. Opper in Bremen. Mit 13 Abbild. und 1 Karte. Nr. 284.

— **von Elßaß-Lothringen** von Prof. Dr. R. Langenbeck in Straßburg i. E. Mit 11 Abbildgn. u. 1 Karte. Nr. 215.

— **der Iberischen Halbinsel** von Dr. Fritz Regel, Prof. an der Univers. Würzburg. Mit 8 Kärtchen und 8 Abbild. im Text und 1 Karte in Farbendruck. Nr. 235.

— **von Österreich-Ungarn** von Dr. Alfred Grund, Professor an der Univers. Berlin. Mit 10 Textillustration. und 1 Karte. Nr. 244.

— **des Königreichs Sachsen** v. Dr. J. Semmrich, Oberlehrer am Realgymnas. in Plauen. Mit 12 Abbild. u. 1 Karte. Nr. 258.

— **von Skandinavien** (Schweden, Norwegen und Dänemark) von Heinrich Kerp, Lehrer am Gymnasium und Lehrer der Erdkunde am Comenius-Seminar zu Bonn. Mit 11 Abbild. und 1 Karte. Nr. 202.

— **des Königreichs Württemberg** von Dr. Kurt Hassert, Prof. der Geographie an der Handelshochschule in Köln. Mit 16 Vollbildern u. 1 Karte. Nr. 157.

**Landwirtschaftliche Betriebslehre** von Ernst Langenbeck in Bochum. Nr. 227.



# Sammlung Götschen

Je in elegantem  
Leinwandband 80 Pf.

G. J. Götschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

- Leben, Deutsches, im 12. Jahrhundert.** Kulturhistorische Erläuterungen zum Nibelungenlied und zur Kudrun. Von Prof. Dr. Jul. Dieffenbacher in Freiburg i. B. Mit 1 Taf. und 30 Abbild. Nr. 93.
- Lessings Emilia Galotti.** Mit Einleitung und Anmerkungen von Prof. Dr. W. Dotzsch. Nr. 2.
- **Minna v. Barnhelm.** Mit Anm. von Dr. Tomaschek. Nr. 5.
- Licht.** Theoretische Physik II. Teil: Licht und Wärme. Von Dr. Gust. Jäger, Prof. an der Univerf. Wien. Mit 47 Abbild. Nr. 77.
- Literatur, Althochdeutsche,** mit Grammatik, Übersetzung und Erläuterungen von Th. Schauffler, Prof. am Realgymnasium in Ulm. Nr. 28.
- Literaturdenkmäler des 14. u. 15. Jahrhunderts.** Ausgewählt und erläutert von Dr. Hermann Janßen, Direktor der Königin Luise-Schule in Königsberg i. Pr. Nr. 181.
- **des 16. Jahrhunderts I: Martin Luther, Thom. Murner u. das Kirchenlied des 16. Jahrhunderts.** Ausgewählt und mit Einleitungen und Anmerkungen versehen von Prof. G. Berlit, Oberlehrer am Nikolaigymnasium zu Leipzig. Nr. 7.
- **II: Hans Sachs.** Ausgewählt und erläutert von Prof. Dr. Jul. Sahr. Nr. 24.
- **III: Von Brant bis Hollenhagen: Brant, Gutten, Fischart, sowie Ciercepos und Fabel.** Ausgewählt und erläutert von Prof. Dr. Julius Sahr. Nr. 36.
- Literaturen, Die, des Orients.** I. Teil: Die Literaturen Ostasiens und Indiens v. Dr. M. Haberlandt, Privatdozent an der Univerf. Wien. Nr. 162.
- II. Teil: Die Literaturen der Perser, Semiten und Türken, von Dr. M. Haberlandt, Privatdozent an der Univerf. Wien. Nr. 163.
- Literaturgeschichte, Deutsche, von Dr. Max Koch,** Professor an der Univerf. Breslau. Nr. 31.
- **Deutsche, der Klassikerzeit** von Carl Weitbrecht, Prof. an der Techn. Hochschule Stuttgart. Nr. 161.
- **Deutsche, des 19. Jahrhunderts** von Carl Weitbrecht, Prof. an der Techn. Hochschule Stuttgart. I. II. Nr. 134. 135.
- **Englische,** von Dr. Karl Weiser in Wien. Nr. 69.
- **Grundzüge und Haupttypen der englischen Literaturgeschichte** von Dr. Arnold M. M. Schröer, Prof. an der Handelshochschule in Köln. 2 Teile. Nr. 286. 287.
- **Griechische,** mit Berücksichtigung der Geschichte der Wissenschaften von Dr. Alfred Gerde, Prof. an der Univerf. Greifswald. Nr. 70.
- **Italienische,** von Dr. Karl Dohler, Prof. an der Univerf. Heidelberg. Nr. 125.
- **Nordische, I. Teil:** Die isländische und norwegische Literatur des Mittelalters von Dr. Wolfgang Golther, Prof. an d. Univerf. Rostock. Nr. 254.
- **Portugiesische,** von Dr. Karl von Reinhardtsoettner, Prof. an der Kgl. Techn. Hochschule München. Nr. 213.
- **Römische,** von Dr. Hermann Joachim in Hamburg. Nr. 52.
- **Russische,** von Dr. Georg Polonskij in München. Nr. 166.
- **Slavische,** von Dr. Josef Karáfel in Wien. I. Teil: Ältere Literatur bis zur Wiedergeburt. Nr. 277.
- 2. Teil: Das 19. Jahrh. Nr. 278.
- **Spanische,** von Dr. Rudolf Beer in Wien. I. II. Nr. 167. 168.
- Logarithmen.** Vierstellige Tafeln und Gegentafeln für logarithmisches und trigonometrisches Rechnen in zwei Farben zusammengestellt von Dr. Hermann Schubert, Prof. an der Gelehrtenschule des Johanneums in Hamburg. Nr. 81.



# Sammlung Götschen

Je in elegantem  
Leinwandband

80 Pf.

G. J. Götschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

**Logik.** Psychologie und Logik zur Einführung in die Philosophie von Dr. Th. Eshenans. Mit 13 Fig. Nr. 14.

**Luther, Martin, Thom. Murner und das Kirchenlied des 16. Jahrhunderts.** Ausgewählt und mit Einleitungen und Anmerkungen versehen von Prof. G. Berlit, Oberlehrer am Nikolaigymnasium zu Leipzig. Nr. 7.

**Magnetismus.** Theoretische Physik III. Teil: Elektrizität und Magnetismus. Von Dr. Gustav Jäger, Prof. an der Univerf. Wien. Mit 33 Abbild. Nr. 78.

**Materei, Geschichte der, I. II. III. IV. V.** von Dr. Rich. Muther, Prof. an d. Univerf. Breslau. Nr. 107—111.

**Mälzerei.** Brauereiwesen I: Mälzerei von Dr. P. Dreverhoff, Direktor d. Öffentl. u. l. Sächs. Versuchsstat. für Brauerei u. Mälzerei, sowie der Brauer- u. Mälzerschule zu Grimma. Nr. 303.

**Maschinenelemente, Die.** Kurzgefaßtes Lehrbuch mit Beispielen für das Selbststudium und den prakt. Gebrauch von Fr. Barth, Obergeringieur in Nürnberg. Mit 86 Fig. Nr. 3.

**Maß-, Münz- und Gewichtswesen** von Dr. August Blind, Prof. an der Handelsschule in Köln. Nr. 283.

**Maßanalyse** von Dr. Otto Röhm in Stuttgart. Nr. 221.

**Materialprüfungswesen.** Einführ. i. d. mod. Technik d. Materialprüfung von K. Memmler, Diplomingenieur. Ständ. Mitarbeiter a. Kgl. Materialprüfungsamt zu Groß-Lichterfelde. I: Materialeigenschaften. — Festigkeitsversuche. — Hilfsmittel f. Festigkeitsversuche. Mit 58 Fig. Nr. 311. — II: Metallprüfung u. Prüfung v. Hilfsmaterialien d. Maschinenbaues — Baumaterialprüfung. — Papierprüfung. — Schmiermittelprüfung. — Einiges über Metallographie. Mit 31 Fig. Nr. 312.

**Mathematik, Geschichte der,** von Dr. A. Sturm, Professor an Obergymnasium in Seitenstetten. Nr. 226.

**Mechanik.** Theoret. Physik I. Teil: Mechanik und Akustik. Von Dr. Gustav Jäger, Prof. an der Univ. Wien. Mit 19 Abbild. Nr. 76.

**Meereskunde, Physikalische,** von Dr. Gerhard Schott, Abteilungsvorsteher an der Deutschen Seewarte in Hamburg. Mit 28 Abbild. im Text und 8 Taf. Nr. 112.

**Messungsmethoden, Physikalische** v. Dr. Wilhelm Bahrdt, Oberlehrer an der Oberrealschule in Groß-Lichterfelde. Mit 19 Fig. Nr. 301.

**Metalle** (Anorganische Chemie 2. Teil) v. Dr. Oskar Schmidt, dipl. Ingenieur, Assistent an der Königl. Bauergewerkschule in Stuttgart. Nr. 212.

**Metalloide** (Anorganische Chemie 1. Teil) von Dr. Oskar Schmidt, dipl. Ingenieur, Assistent an der Kgl. Bauergewerkschule in Stuttgart. Nr. 211.

**Metallurgie** von Dr. Aug. Geiß, diplom. Chemiker in München, I. II. Mit 21 Fig. Nr. 313. 314.

**Meteorologie** von Dr. W. Trabert, Prof. an der Univerf. Innsbruck. Mit 49 Abbild. und 7 Taf. Nr. 54.

**Mineralogie** von Dr. R. Brauns, Prof. an der Univerf. Kiel. Mit 130 Abbild. Nr. 29.

**Minnesang und Spruchdichtung.** Walther von der Vogelweide mit Auswahl aus Minnesang und Spruchdichtung. Mit Anmerkungen und einem Wörterbuch von Otto Güntter, Prof. an der Oberrealschule und an der Techn. Hochschule in Stuttgart. Nr. 23.

**Morphologie, Anatomie u. Physiologie der Pflanzen.** Von Dr. W. Mügula, Prof. a. d. Forstakademie Eisenach. Mit 50 Abbild. Nr. 141.

**Münzwesen.** Maß-, Münz- und Gewichtswesen von Dr. Aug. Blind, Prof. an der Handelsschule in Köln. Nr. 283.

# Sammlung Götschen

Je in elegantem  
Leinwandband 80 Pf.

G. J. Götschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

- Murner, Thomas.** Martin Luther, Thomas Murner und das Kirchenlied des 16. Jahrh. Ausgewählt und mit Einleitungen und Anmerkungen versehen von Prof. G. Berlit, Oberl. am Nikolaigymn. zu Leipzig. Nr. 7.
- Musik, Geschichte der alten und mittelalterlichen,** von Dr. A. Möhler. Mit zahlreichen Abbild. und Musikbeisagen. Nr. 121.
- Musikalische Formenlehre (Kompositionslehre)** v. Stephan Krehl. I. II. Mit vielen Notenbeispielen. Nr. 149. 150.
- Musikgeschichte des 17. und 18. Jahrhunderts** von Dr. K. Grunsky in Stuttgart. Nr. 239.
- **des 19. Jahrhunderts** von Dr. K. Grunsky in Stuttgart. I. II. Nr. 164. 165.
- Musiklehre, Allgemeine,** v. Stephan Krehl in Leipzig. Nr. 220.
- Mythologie, Germanische,** von Dr. Eugen Mogk, Prof. an der Univ. Leipzig. Nr. 15.
- **Griechische und römische,** von Dr. Herm. Steuding, Prof. am Kgl. Gymnasium in Würzen. Nr. 27.
- siehe auch: Helden Sage.
- Nautik.** Kurzer Abriss des täglich an Bord von Handelsschiffen angewandten Teils der Schifffahrtskunde. Von Dr. Franz Schulze, Direktor der Navigations-Schule zu Lübeck. Mit 56 Abbild. Nr. 84.
- Nibelunge, Der, Nöt in Auswahl und Mittelhochdeutsche Grammatik mit kurzem Wörterbuch** von Dr. W. Golther, Prof. an der Univ. Rostock. Nr. 1.
- — siehe auch: Leben, Deutsches, im 12. Jahrhundert.
- Nutzpflanzen** von Prof. Dr. J. Behrens, Vorst. d. Großh. landwirtschaftl. Versuchsanst. Augustenberg. Mit 53 Fig. Nr. 123.
- Pädagogik im Grundriss** von Prof. Dr. W. Rein, Direktor des Pädagog. Seminars an der Univ. Jena. Nr. 12.
- **Geschichte der,** von Oberlehrer Dr. H. Weimer in Wiesbaden. Nr. 145.
- Paläontologie** v. Dr. Rud. Hoernes, Prof. an der Univ. Graz. Mit 87 Abbild. Nr. 95.
- Parallelperspektive.** Rechtswinklige und schiefwinklige Aronometrie von Prof. J. Vonderlinn in Breslau. Mit 121 Fig. Nr. 260.
- Perspektive** nebst einem Anhang üb. Schattenkonstruktion und Parallelperspektive von Architekt Hans Freyberger, Oberl. an der Bauwerkerschule Köln. Mit 88 Abbild. Nr. 57.
- Petrographie** von Dr. W. Bruhns, Prof. a. d. Univ. Straßburg i. E. Mit 15 Abbild. Nr. 173.
- Pflanze, Die, ihr Bau und ihr Leben** von Oberlehrer Dr. E. Dennert. Mit 96 Abbild. Nr. 44.
- Pflanzenbiologie** von Dr. W. Migula, Prof. a. d. Forstakademie Eisenach. Mit 50 Abbild. Nr. 127.
- Pflanzenkrankheiten** v. Dr. Werner Friedrich Brud in Gießen. Mit 1 farb. Taf. u. 45 Abbild. Nr. 310.
- Pflanzen-Morphologie, -Anatomie und -Physiologie** von Dr. W. Migula, Prof. an der Forstakad. Eisenach. Mit 50 Abbild. Nr. 141.
- Pflanzenreich, Das.** Einteilung des gesamten Pflanzenreichs mit den wichtigsten und bekanntesten Arten von Dr. F. Reineke in Breslau und Dr. W. Migula, Prof. an der Forstakad. Eisenach. Mit 50 Fig. Nr. 122.
- Pflanzenwelt, Die, der Gewässer** von Dr. W. Migula, Prof. an der Forstakademie Eisenach. Mit 50 Abbild. Nr. 158.
- Pharmakognosie.** Von Apotheker F. Schmitthener, Assistent am Botan. Institut der Technischen Hochschule Karlsruhe. Nr. 251.
- Philosophie, Einführung in die,** von Dr. Max Wentzsch, Prof. a. d. Univ. Königsberg. Nr. 281.
- **Psychologie und Logik zur Einföhr.** in die Philosophie von Dr. Th. Eisenhans. Mit 13 Fig. Nr. 14.



# Sammlung Götschen Je in elegantem Leinwandband 80 Pf.

G. J. Götschen'sche Verlagsbuchhandlung, Leipzig.

- Photographie, Die.** Von H. Kehler, Prof. an der k. k. Graphischen Lehr- und Versuchsanstalt in Wien. Mit 4 Taf. und 52 Abbild. Nr. 94.
- Physik, Theoretische, I. Teil: Mechanik und Akustik.** Von Dr. Gustav Jäger, Prof. an der Univerf. Wien. Mit 19 Abbild. Nr. 76.
- II. Teil: Licht und Wärme. Von Dr. Gustav Jäger, Prof. an der Univ. Wien. Mit 47 Abbild. Nr. 77.
- III. Teil: Elektrizität und Magnetismus. Von Dr. Gustav Jäger, Prof. an der Univerf. Wien. Mit 53 Abbild. Nr. 78.
- **Geschichte der,** von A. Kistner, Prof. an der Großh. Realschule zu Sinshelm a. E. I: Die Physik bis Newton. Mit 13 Fig. Nr. 293.
- II: Die Physik von Newton bis zur Gegenwart. Mit 3 Fig. Nr. 294.
- Physikalische Aufgabensammlung** von G. Mahler, Prof. d. Mathem. u. Physik am Gymnasium in Ulm. Mit den Resultaten. Nr. 243.
- Physikalische Formelsammlung** von G. Mahler, Prof. am Gymnasium in Ulm. Mit 65 Fig. Nr. 136.
- Physikalische Messungsmethoden** v. Dr. Wilhelm Bährdt, Oberlehrer an der Oberrealschule in Großlichtersfelde. Mit 49 Fig. Nr. 301.
- Plastik, Die, des Abendlandes** von Dr. Hans Stegmann, Konservator am German. Nationalmuseum zu Nürnberg. Mit 23 Taf. Nr. 116.
- Poetik, Deutsche,** von Dr. K. Borinski, Prof. a. d. Univ. München. Nr. 40.
- Posamentiererei. Textil-Industrie II: Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation** von Prof. Max Gürtler, Direktor der Königl. Techn. Zentralstelle für Textil-Ind. zu Berlin. Mit 27 Fig. Nr. 185.
- Psychologie und Logik zur Einführ.** in die Philosophie, von Dr. Th. Eisenhans. Mit 15 Fig. Nr. 14.
- Psychophysik, Grundriss der,** von Dr. G. S. Lipps in Leipzig. Mit 3 Fig. Nr. 98.
- Pumpen, hydraulische und pneumatische Anlagen.** Ein kurzer Überblick von Regierungsbaumeister Rudolf Vogdt, Oberlehrer an der kgl. höheren Maschinenbauschule in Posen. Mit zahlr. Abbild. Nr. 290.
- Quellenkunde zur deutschen Geschichte** von Dr. Carl Jacob, Prof. an der Univerf. Tübingen. 2 Bde. Nr. 279. 280.
- Rechnen, Kaufmännisches,** von Richard Just, Oberlehrer an der Öffentlichen Handelslehranstalt der Dresdener Kaufmannschaft. I. II. III. Nr. 139. 140. 187.
- Recht des bürgerlichen Gesetzbuches.** Viertes Buch: Familienrecht von Dr. Heinrich Tige, Prof. an der Univerf. Göttingen. Nr. 305.
- Rechtslehre, Allgemeine,** von Dr. Th. Sternberg, Privatdoz. an der Univerf. Lausanne. I: Die Methode. Nr. 169.
- II: Das System. Nr. 170.
- Rechtsschutz, Der internationale gewerbliche,** von J. Neuberg, Kaiserl. Regierungsrat, Mitglied des Kaiserl. Patentamts zu Berlin. Nr. 271.
- Redelehre, Deutsche,** v. Hans Probst, Gymnasialprof. in Bamberg. Mit einer Taf. Nr. 61.
- Religionsgeschichte, Alttestamentliche,** von Dr. Max Löhr, Prof. an der Univerf. Breslau. Nr. 292.
- **Indische,** von Prof. Dr. Edmund Hardy. Nr. 83.
- siehe auch Buddha.
- Religionswissenschaft, Abriss der vergleichenden,** von Prof. Dr. Th. Achelis in Bremen. Nr. 208.
- Renaissance.** Die Kultur d. Renaissance. Gesittung. Forschung, Dichtung von Dr. Robert S. Arnold, Privatdoz. an der Univ. Wien. Nr. 189.
- Roman.** Geschichte d. deutschen Romane von Dr. Hellmuth Mielke. Nr. 229.
- Russisch-Deutsches Gesprächsbuch** von Dr. Erich Berner, Prof. an der Univerf. Prag. Nr. 68.



# Sammlung Götschen

Je in elegantem  
Leinwandband 80 Pf.

G. J. Götschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

- Russisches Lesebuch** mit Glossar von Dr. Erich Bernker, Prof. an der Univ. Prag. Nr. 67.  
— siehe auch: Grammatik.
- Sachs, Hans.** Ausgewählt und erläutert von Prof. Dr. Julius Sahr. Nr. 24.
- Säugetiere.** Das Tierreich I: Säugetiere von Oberstudienrat Prof. Dr. Kurt Lampert, Vorsteher des Kgl. Naturalienkabinetts in Stuttgart. Mit 15 Abbild. Nr. 282.
- Schattenkonstruktionen** v. Prof. J. Vonderlinn in Breslau. Mit 114 Fig. Nr. 236.
- Schmaroher u. Schmaroberkum in der Tierwelt.** Erste Einführung in die tierische Schmaroherkunde v. Dr. Franz v. Wagner, a. o. Prof. a. d. Univ. Gießen. Mit 67 Abbild. Nr. 151.
- Schule, Die deutsche, im Auslande,** von Hans Amrhein in Halle a. S. Nr. 259.
- Schulpraxis.** Methodik der Volksschule von Dr. R. Senfert, Seminaroberlehrer in Annaberg. Nr. 50.
- Simplicius Simplicissimus** von Hans Jakob Christoffel v. Grimmelshausen. In Auswahl herausgegeben von Prof. Dr. F. Bobertag, Dozent an der Univ. Breslau. Nr. 138.
- Sociologie** von Prof. Dr. Thomas Schelis in Bremen. Nr. 101.
- Spitzenfabrikation.** Textil-Industrie II: Weberei, Wirterei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation von Prof. Max Gürtler, Direktor der Kgl. Techn. Zentralstelle für Textil-Industrie zu Berlin. Mit 27 Fig. Nr. 185.
- Sprachdenkmäler, Gotische,** mit Grammatik, Übersetzung und Erläuterungen v. Dr. Herm. Janzen, Direktor der Königin Luise-Schule in Königsberg i. Pr. Nr. 79.
- Sprachwissenschaft, Germanische,** v. Dr. Rich. Loewe in Berlin. Nr. 238.  
— **Indogermanische,** v. Dr. R. Meringer, Prof. a. d. Univ. Graz. Mit einer Taf. Nr. 59.
- Sprachwissenschaft, Romanische,** von Dr. Adolf Zauner, Privatdozent an der Univ. Wien. I: Lautlehre u. Wortlehre I. Nr. 128.  
— II: Wortlehre II u. Syntax. Nr. 250.
- Semitische,** von Dr. C. Brockelmann, Prof. an der Univ. Königsberg. Nr. 291.
- Staatsrecht, Preussisches,** von Dr. Frh. Stier-Somlo, Prof. an der Univ. Bonn. 2 Teile. Nr. 298 u. 299.
- Stammeskunde, Deutsche,** von Dr. Rudolf Much, a. o. Prof. an der Univ. Wien. Mit 2 Karten und 2 Taf. Nr. 126.
- Statik.** I. Teil: Die Grundlehren der Statik starrer Körper v. W. Hauber, Diplom.-Ing. Mit 82 Fig. Nr. 178.  
— II. Teil: Angewandte Statik. Mit 61 Fig. Nr. 179.
- Stenographie** nach dem System von F. E. Gabelsberger von Dr. Albert Schramm, Mitglied des Kgl. Stenogr. Instituts Dresden. Nr. 246.  
— Lehrbuch der Vereinfachten Deutschen Stenographie (Einig.-System Stolze-Schren) nebst Schlüssel, Lesebüchern u. einem Anhang v. Dr. Amiel, Oberlehrer des Kadettenhauses Oranienstein. Nr. 86.
- Stereochemie** von Dr. E. Wedekind, Prof. an der Univ. Tübingen. Mit 34 Abbild. Nr. 201.
- Stereometrie** von Dr. R. Glaeser in Stuttgart. Mit 44 Fig. Nr. 97.
- Stilkunde** von Karl Otto Hartmann, Gewerbeschulvorstand in Lehr. Mit 7 Vollbildern und 195 Text-Illustrationen. Nr. 80.
- Technologie, Allgemeine chemische,** von Dr. Gust. Rauter in Charlottenburg. Nr. 113.
- Teerfarbstoffe, Die,** mit besonderer Berücksichtigung der synthetischen Methoden von Dr. Hans Bucherer, Prof. an der Kgl. Techn. Hochschule Dresden. Nr. 214.
- Telegraphie, Die elektrische,** von Dr. Lud. Kellstab. Nr. 19 Fig. Nr. 172.

# Sammlung Götschen

Je in elegantem  
Leinwandband 80 Pf.

G. J. Götschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

**Testament.** Die Entstehung des Alten Testaments von Lic. Dr. W. Staerf in Jena. Nr. 272.

— Die Entstehung des Neuen Testaments von Prof. Lic. Dr. Carl Clemen in Bonn. Nr. 285.

**Tertil-Industrie II:** Weberei, Wäscherei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation von Prof. Max Gürtler, Dir. der Königlichen Techn. Zentralstelle für Tertil-Industrie zu Berlin. Mit 27 Fig. Nr. 185.

— III: Wäscherei, Bleicherei, Färberei und ihre Hilfsstoffe von Dr. Wilh. Massot, Lehrer an der Preuß. höh. Fachschule für Tertilindustrie in Krefeld. Mit 28 Fig. Nr. 186.

**Thermodynamik** (Technische Wärmelehre) von K. Walther und M. Röttinger, Dipl.-Ingenieuren. Mit 54 Fig. Nr. 242.

**Tierbiologie I:** Entstehung und Weiterbildung der Tierwelt, Beziehungen zur organischen Natur von Dr. Heinrich Simroth, Prof. an der Univerf. Leipzig. Mit 33 Abbild. Nr. 131.

— II: Beziehungen der Tiere zur organischen Natur von Dr. Heinrich Simroth, Prof. an der Univerf. Leipzig. Mit 35 Abbild. Nr. 132.

**Tiergeographie** von Dr. Arnold Jacobi, Prof. der Zoologie an der Kgl. Forstakademie zu Tharandt. Mit 2 Karten. Nr. 218.

**Tierkunde** v. Dr. Franz v. Wagner, Prof. an der Univerf. Gießen. Mit 78 Abbild. Nr. 60.

**Tierreich, Das, I:** Säugetiere von Oberstudienrat Prof. Dr. Kurt Lampert, Vorsteher des Kgl. Naturalienkabinetts in Stuttgart. Mit 15 Abbild. Nr. 282.

**Tierrechtslehre,** Allgemeine und spezielle, von Dr. Paul Rippert in Berlin. Nr. 228.

**Trigonometrie, Ebene und sphärische,** von Dr. Gerh. Hessenberg, Privatdoz. an der Techn. Hochschule in Berlin. Mit 70 Fig. Nr. 99.

**Unterrichtswesen, Das öffentliche, Deutschlands i. d. Gegenwart** von Dr. Paul Stöckner, Gymnasialoberlehrer in Zwickau. Nr. 130.

— **Geschichte des deutschen Unterrichtswesens** von Prof. Dr. Friedrich Seiler, Direktor des Kgl. Gymnasiums zu Ludau. I. Teil: Von Anfang an bis zum Ende des 18. Jahrhunderts. Nr. 275.

— II. Teil: Vom Beginn des 19. Jahrhunderts bis auf die Gegenwart. Nr. 276.

**Urgeschichte der Menschheit** v. Dr. Moriz Hoernes, Prof. an der Univ. Wien. Mit 53 Abbild. Nr. 42.

**Urheberrecht, Das deutsche,** an literarischen, künstlerischen und gewerblichen Schöpfungen, mit besonderer Berücksichtigung der internationalen Verträge von Dr. Gustav Rauter, Patentanwalt in Charlottenburg. Nr. 263.

**Versicherungsmathematik** von Dr. Alfred Loewy, Prof. an der Univ. Freiburg i. B. Nr. 180.

**Versicherungswesen, Das,** von Dr. iur. Paul Moldenhauer, Dozent der Versicherungswissenschaft an der Handelshochschule Köln. Nr. 262.

**Völkerkunde** von Dr. Michael Haberlandt, f. u. f. Kustos der ethnogr. Sammlung des naturhistor. Hofmuseums u Privatdoz. an d. Univerf. Wien. Mit 56 Abbild. Nr. 73.

**Volkslied, Das deutsche,** ausgewählt und erläutert von Prof. Dr. Jul. Sahr. Nr. 25.

**Volkswirtschaftslehre** v. Dr. Carl Johs. Fuchs, Prof. an der Univerf. Freiburg i. B. Nr. 133.

**Volkswirtschaftspolitik** von Präsident Dr. R. van der Borcht in Berlin. Nr. 177.

**Waltherilied, Das,** im Versmaße der Urdschrift übersetzt und erläutert von Prof. Dr. H. Althof, Oberlehrer a. Realgymnasium i. Weimar. Nr. 46



# Sammlung Götschen

In elegantem  
Leinwandband 80 Pf.

G. J. Götschen'sche Verlagshandlung, Leipzig.

**Walther von der Vogelweide** mit Auswahl aus Minnesang u. Spruchdichtung. Mit Anmerkungen und einem Wörterbuch von Otto Güntter, Prof. a. d. Oberrealschule und a. d. Techn. Hochsch. in Stuttgart. Nr. 23.

**Warenkunde**, von Dr. Karl Hassack, Professor an der Wiener Handelsakademie. I. Teil: Unorganische Waren. Mit 40 Abbild. Nr. 222. — II. Teil: Organische Waren. Mit 36 Abbild. Nr. 223.

**Wärme**. Theoretische Physik II. Teil: Licht und Wärme. Von Dr. Gustav Jäger, Prof. an der Univ. Wien. Mit 47 Abbild. Nr. 77.

**Wärmelehre, Technische, (Thermodynamik)** von K. Walther u. M. Röttinger, Dipl.-Ingenieure. Mit 54 Fig. Nr. 242.

**Wäscherei**. Textil-Industrie III: Wäscherei, Bleicherei, Färberei und ihre Hilfsstoffe von Dr. Wilh. Massot, Lehrer an der Preuß. höh. Fachschule für Textilindustrie in Krefeld. Mit 28 Fig. Nr. 186.

**Wasser, Gas**, und seine Verwendung in Industrie und Gewerbe von Dr. Ernst Leher, Dipl.-Ingen. in Saalfeld. Mit 15 Abbild. Nr. 261.

**Weberei**. Textil-Industrie II: Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation von Prof. Max Gürtler, Direktor der Königl. Techn. Zentralstelle für Textil-Industrie zu Berlin. Mit 27 Fig. Nr. 185.

**Wirkerei**. Textil-Industrie II: Weberei, Wirkerei, Posamentiererei, Spitzen- und Gardinenfabrikation und Filzfabrikation von Prof. Max Gürtler, Direktor der Königl. Techn. Zentralstelle für Textil-Industrie zu Berlin. Mit 27 Fig. Nr. 185.

**Wolfram von Eschenbach**. Hartmann v. Aue, Wolfram v. Eschenbach und Gottfried von Straßburg. Auswahl aus dem hof. Epos mit Anmerkungen und Wörterbuch von Dr. K. Marold, Prof. am Königl. Friedrichscolleg. 3. Königsberg i. Pr. Nr. 22.

**Wörterbuch** nach der neuen deutschen Rechtschreibung von Dr. Heinrich Klenz. Nr. 200.

— **Deutsches**, von Dr. Ferd. Dettler, Prof. an der Universität Prag. Nr. 64.

**Zeichenschule** von Prof. K. Kimmich in Ulm. Mit 18 Taf. in Ton-, Farben- und Golddruck u. 200 Voll- und Textbildern. Nr. 39.

**Zeichnen, Geometrisches**, von H. Becker, Architekt und Lehrer an der Baugewerkschule in Magdeburg, neu bearb. v. Prof. J. Vonderlinn, diplom. und staatl. gepr. Ingenieur in Breslau. Mit 290 Fig. und 23 Tafeln im Text. Nr. 58.

Weitere Bände erscheinen in rascher Folge.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW

S - 96



In unserem Verlage erscheint ferner die

# **S**ammlung **S**chubert

## **Sammlung mathematischer Lehrbücher,**

die, auf wissenschaftlicher Grundlage beruhend, den Bedürfnissen des Praktikers Rechnung tragen und zugleich durch eine leichtfaßliche Darstellung des Stoffes auch für den Nichtfachmann verständlich sind. In systematisch sich aufbauenden, selbständigen Einzeldarstellungen bildet das Unternehmen einen einheitlich angelegten Lehrgang der gesamten Mathematik, von den ersten Anfangsgründen der Arithmetik und Algebra bis zur höheren Mathematik.

**Ausführliche Verzeichnisse unberechnet und postfrei.**

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



I-301314



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000295825