Beilage zum Osterprogramm
der Realschule zu Oschersleben. 1903.

Grundzüge

der

mathematischen Erdkunde

von

Harry Kahle
Oberlehrer.

Bibliothek des Städt. Gymnasiums * Düsseldorf *

Oschersleben.
Druck von Walter Eichel.

315 b.

905 (1903)
2

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

UNIVERSITÄTS- UND LANDESBIBLIOTHEK
DÜSSELDORF

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Vorwort.

Die vorliegende Arbeit ist aus einem speziellen praktischen Bedürfnis geschrieben worden. Da an unserer Anstalt in der ersten Klasse nur eine Stunde wöchentlich für Erdkunde vorgesehen ist und in dieser im Laufe des Schuljahres sowohl die mathematische Erdkunde behandelt als auch die ganze Erdkunde Europas wiederholt und die wichtigsten Verkehrs- und Handelswege hervorgehoben werden müssen, so muß das Gebotene im einzelnen eine ziemlich knappe Form innehalten und besonders die mathematische Erdkunde muß auf etwa 10 Unterrichtsstunden zusammengedrängt werden.

Die meisten Lehrbücher der Erdkunde behandeln aber die mathematische Erdkunde im Pensum der Oberstufe so ausführlich, daß sie bei zweistündigem Unterricht ein Halbjahr ausfüllt. Daher ist es für unsere Schüler sehr schwer, aus einem solchen Lehrbuch für die Repetition das herauszufinden, was ihrem Verständnisse angemessen ist, besonders auch in mathematischer Beziehung, wo wir doch nur mit den einfachsten Formeln der ebenen Trigonometrie arbeiten können. In den vorliegenden Grundzügen ist nun versucht worden, ein in geographischer und mathematischer Beziehung für das Verständnis einer Richtvollanstalt zugeschnittenes Material zu bieten, dessen

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

mathematischer Inhalt so gewählt ist, daß durch einfache Aufgaben im Gebiete der ebenen Trigonometrie im mathematischen Unterricht das Verständnis für die mathematische Erdkunde noch weiter gefördert werden kann, wozu im erdkundlichen Unterricht wegen der Beschränkung der Zeit keine Gelegenheit ist.

Oschersleben, Ostern 1903.

Kahle.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

§ 1.

Einleitung.

Die mathematische Erdkunde behandelt die Gestalt und Bewegung der Erde, sowie ihre Beziehungen zu anderen Himmelskörpern, besonders der Sonne. Im Altertum und Mittelalter konnte man sich nicht von der Anschauung befreien, daß die Erde im Mittelpunkte des Weltalls stehe und die Gestalt einer Scheibe habe. Doch waren einzelne bevorzugte Denker auf Grund der für jene Zeiten schon recht genauen astronomischen Beobachtungen bereits zu richtigeren Vorstellungen gelangt.

Astronomische Beobachtungen wurden nämlich schon von den Babyloniern vor 600 v. Chr. gemacht, von ihnen übernahmen die Griechen ihr astronomisches Wissen, das z. B. Thales von Milet (631—548) befähigte, im Jahre 558 eine Sonnenfinsternis vorher zu berechnen. Pythagoras (580—500) erklärte die Erde zuerst als eine frei im Weltenraume schwebende Kugel, Plato lehrte die Achsendrehung der Erde, aber diese Lehren haben nie größere Verbreitung gefunden.

Die Astronomen in Alexandria, Eratosthenes, Hipparch und Ptolemäus, stellten in den 2 Jahrhunderten vor und nach Christus schon für ihre Zeit erstaunliche Beobachtungen an, bestimmten den Umfang der Erde, die Entfernung des Mondes und die Bewegung der Planeten (Theorie der Epicyklen).

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Die Römer hatten kein Interesse für Astronomie, und das auf römischer Kultur fußende Mittelalter begnügte sich mit dem Studium der alten schriftlichen Überlieferungen und war jeder direkten naturwissenschaftlichen Beobachtung unzugänglich.

Erst der im Zeitalter der Reformation gegen alles schriftlich Überlieferte aufstehende Widerspruchsgeist und die erwachende Lust an eigener Beobachtung führte auch auf astronomischem Gebiete zum Verlassen der ptolemäischen Weltanschauung durch Kopernikus (1473 — 1543), der zuerst die Sonne als Zentralkörper des Planetensystems bezeichnete und die tägliche scheinbare Drehung der Gestirne auf die Achsendrehung der Erde zurückführte. Ein Verfechter dieser Auffassung war besonders Galilei (1564—1642), der noch als 70jähriger Greis von der Kirche wegen seiner angeblich bibelfeindlichen Ansichten vor ein Ketzergericht gestellt und durch Androhung der Todesstrafe zum Abschwören seiner Lehren gezwungen wurde (Legende: E pur si muove!).

Die dem kopernikanischen System noch anhaftenden Unklarheiten wurden von Kepler (1571—1630) und Newton (1642—1717) beseitigt, von denen der erstere die mathematischen Gesetze der Planetenbewegung, letzterer das Gesetz der allgemeinen Massenanziehung (Gravitation) auffand.

Den Schlußstein unserer Vorstellungen über das Sonnensystem fügten der Philosoph Kant und der Astronom Laplace ein, nach deren Hypothese das Sonnensystem ursprünglich aus einer glühenden Gasmasse bestand, die sich um eine Achse drehte. Infolge der Zentrifugalkraft lösten sich am Äquator des Gasballes Ringe ab, diese platzten an irgend einer Stelle, die abge-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

löste Masse nahm wieder Kugelgestalt an, so bildeten sich die Planeten. Von einzelnen Planeten sonderten sich in gleicher Weise Monde ab, nur beim Saturn ist eine Probe der Ringbildung erhalten geblieben. Aus dieser Hypothese erklärt sich auch die Abplattung der Planeten infolge der Zentrifugalkraft, wobei ein flüssiger Zustand der Planeten unbedingt vorausgesetzt werden muß.

§ 2.

Die Erscheinungen am Himmel.

Der Globus zeigt uns als Abbild der Erde eine Kugel, die um eine durch den Mittelpunkt gehende Achse drehbar ist. Wir wollen im Folgenden untersuchen, inwieweit dadurch die Erscheinungen am Himmel sich erklären lassen.

Der Himmel erscheint uns an jedem freiliegenden Punkte der Erde als eine etwas abgeplattete Halbkugel, die wir uns in Gedanken zu einer vollen, die Erde umgebenden Hohlkugel erweitern. Denken wir uns am Beobachtungsorte eine Tangentialebene an die Erde gelegt, so schneidet diese das Himmelsgewölbe in einem Kreise, dem scheinbaren Horizont. Eine Parallelebene zu dieser Tangentialebene durch den Mittelpunkt der Erde gelegt schneidet die Himmelskugel in dem wahren Horizont. Für die Beobachtungen der sehr weit entfernten Sterne kann die Erde als Punkt aufgefaßt werden, sodaß beide Horizonte zusammenfallen, nur die Beobachtung der Körper des Sonnensystems, besonders der Sonne selbst und des Mondes, macht eine Unterscheidung der beiden Horizonte nötig. Errichtet man im Beobachtungsorte auf der Horizontalebene eine Senkrechte, so trifft diese die Himmels-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

kugel in einem oberen und unteren Punkte, dem Zenith und Nadir. (Fig. 1.)

Zwei weitere feste Punkte am Himmel erhält man, wenn man sich die Drehungsachse der Erde verlängert, bis sie das Himmelsgewölbe schneidet; man bezeichnet diese als Himmelspole, entsprechend dem Nordpol und Südpol auf der Erde. Alle Sterne am Himmel beschreiben nun scheinbar infolge der Drehung der Erde um ihre Achse Kreise, deren Ebenen zu der Drehungsachse senkrecht stehen. Da alle Gestirne östlich von uns auf- und westlich von uns untergehen, so muß der Sinn der Erddrehung umgekehrt sein, also von Westen nach Osten. Nur ein im Himmelspole stehender Stern würde an dieser scheinbaren Drehung nicht teilnehmen. Dies trifft zur Zeit zu für einen Stern im Sternbild des kleinen Bären (Aufsuchen auf dem Atlas!), der dem Nordpol des Himmels sehr nahe steht und deshalb Polarstern genannt wird. Da jedoch die Erdachse nicht absolut feststeht, sondern infolge der ungleichmäßigen Anziehung der abgeplatteten Erde durch die Sonne Schwankungen erleidet, durch welche sie im Laufe von ungefähr 25000 Jahren einen Kegelmantel beschreibt, so ist auch die Lage der Himmelspole veränderlich. Nach etwa 12000 Jahren wird Wega, der hellste Stern im Sternbild der Leier, Polarstern sein. (Atlas.)

Nur ein Teil der Sterne beschreibt einen vollen Kreis über unserem Horizonte, diese nennen wir Circumpolarsterne, die Mehrzahl der Sterne geht dagegen auf und unter, sie werden zeitweise über unserem Horizonte sichtbar und verschwinden dann wieder unter dem Horizonte. Die Mitten (Kulminationspunkte) der von diesen Sternen über dem Horizonte beschriebenen Kreis-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

bögen liegen sämtlich in einer Ebene, die durch die Drehungsachse geht und auf der Horizontalebene senkrecht steht.

Da auch die Mitte des von der Sonne am Himmel beschriebenen täglichen Bogens in dieser Ebene liegt, so nennt man die Ebene die Mittagsebene oder Meridianebene. Jeder Ort der Erde besitzt seine besondere Horizontalebene, also werden auch die Meridianebenen der verschiedenen Orte der Erde im allgemeinen verschieden sein. Die Meridianebenen gehen durch die Drehungsachse und schneiden die Erde in größten Kreisen, die Meridiane genannt werden. Alle Orte, die auf demselben Meridiane liegen, haben also zu gleicher Zeit Mittag.

Sämtliche Meridianebenen des Himmels werden ferner senkrecht geschnitten von einer Ebene, die durch den Mittelpunkt der Erde senkrecht zu der Drehungsachse gelegt wird, der Äquatorebene. Die Äquatorebene geht durch das Sternbild des Orion, und zwar genau durch den nördlichsten Stern im Gürtel des Orion. (Atlas.) Sie schneidet sowohl die Erde als auch die Himmelskugel in zwei konzentrischen Kreisen, die Erdäquator und Himmelsäquator heißen. (Äquator = Gleicher, da die Meridiankreise der Erde durch ihn in (gleiche) Hälften zerlegt werden.)

Die Meridianebene eines Ortes schneidet den Horizont in zwei Punkten, welche Nord- und Südpunkt heißen. Die Äquatorebene schneidet den Horizont auch in zwei Punkten, dem Ost- und Westpunkte. Die Nordsüdrichtung steht auf der Ostwestrichtung senkrecht. (Himmelsrichtungen, Windrose.)

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

§ 3.

Festlegung eines Punktes auf der Erde oder am Himmelsgewölbe.

Die Bestimmung eines Punktes der Erdoberfläche oder der Himmelskugel erfolgt durch Messung von Kreisbögen auf größten Kugelkreisen, deren Ebenen auf einander senkrecht stehen.

A. Auf der Erde.

Man teilt den Erdäquator in 360 gleiche Teile und nennt einen dieser Kreisbögen einen Grad. Durch die Teilpunkte des Äquators und die Pole legt man größte Kreise, die also nach § 2 Meridiankreise sind.

Da zwei auf demselben Äquatordurchmesser liegende Punkte demselben Meridiankreise angehören, so entstehen dadurch 180^0 Vollkreise oder 360^0 Halbkreise. Die Zählung derselben geschieht in der Weise, daß der durch Greenwich gehende Meridian als Nullmeridian angenommen wird und von dort aus die Meridiane bis 180 nach Osten oder Westen gezählt werden. Liegt ein Ort auf dem nten Meridian östlich oder westlich vom Nullmeridian, so sagt man: er hat eine östliche oder westliche Länge von n Grad. Zur Erreichung einer größeren Genauigkeit vermehrt man die Anzahl der Meridiane noch, indem man jeden Bogengrad des Äquators in 60 Bogenminuten und jede derselben wieder in 60 Bogensekunden teilt und durch die Teilpunkte Meridiane legt. So hat z. B. Oschersleben eine östliche Länge von 11^0 11′ 47″.

Die Lage eines Ortes auf seinem Meridian wird nun weiter dadurch bestimmt, daß jeder Meridianvollkreis

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

ebenfalls in 360 gleiche Teile geteilt wird, von denen jeder ein Bogengrad heißt. Der Äquator und die Pole teilen den Meridianvollkreis in 4 Viertelkreise ein, sodaß auf jeden Viertelkreis 90 Bogengrade kommen.

Die Bestimmung eines Ortes auf seinem Meridian geschieht nun dadurch, daß man die Bogengrade angibt, die zwischen ihm und dem Äquator liegen. Die Zählung kann vom Äquator sowohl nach Norden als auch nach Süden erfolgen, man bestimmt also den Ort endgültig durch die Angabe der Bogengrade, die zwischen ihm und dem Äquator auf dem Meridian des Ortes liegen. Ist die Anzahl dieser Bogengrade p nach Norden oder Süden gerechnet, so sagt man der Ort hat eine nördliche oder südliche Breite von p Grad.

Auch hier kann eine genauere Bestimmung eintreten durch Einteilung der Bogengrade in Minuten und Sekunden. Oschersleben hat z. B. eine nördliche Breite von 52^0 1′ 8″. Faßt man einen Punkt auf dem pten Breitengrad eines beliebigen Meridianes ins Auge und denkt sich die Erdkugel in Drehung versetzt, so beschreibt dieser Punkt einen Kreis, dessen Ebene der Äquatorebene parallel ist. Dabei kommt der Meridian nach und nach in die Lage aller anderen Meridiane, sodaß also alle Punkte von p Grad Breite der verschiedenen Meridiane auf demselben Breitenkreise liegen müssen. Wir erhalten auf diese Weise je 90 Kreise der nördlichen und südlichen Halbkugel, die dem Äquator parallel sind und deshalb Parallelkreise heißen. Meridiane und Parallelkreise bilden das Gradnetz der Erde.

Länge und Breite eines Ortes können endlich statt durch die in Bogengraden gemessenen Kreisbögen auch bestimmt werden durch die zu den Bögen gehörigen

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Mittelpunktswinkel am Mittelpunkt der Erde, die ebenso viel Winkelgrade zählen, wie der Bogen Bogengrade. Diese Art der Bestimmung ist die einzig mögliche zur Festlegung eines Punktes an der Himmelskugel, da hier Kreisbögen direkt nicht gemessen werden können.

B. Auf der Himmelskugel.

a) In Beziehung auf den Himmelsäquator.

Das System der Meridiane und Parallelkreise läßt sich so vergrößert denken, daß es sich dem Himmelsgewölbe anpaßt. Dann kann durch eine Längen- und eine Breitenmessung die Lage eines Sternes in Bezug auf den Himmelsäquator und die Pole festgelegt werden. Zu diesem Zwecke wird durch den Stern S und die beiden Pole ein Meridian gelegt, der den Äquator in einem Punkte D schneidet. (Fig. 1.) Der Nullpunkt der Himmelsmeridiane ist derjenige Punkt des Äquators, in dem die Sonne beim Frühlingsanfang steht. Er wird gefunden, indem man am Himmel einen Meridiankreis durch den Polarstern und den Stern β im Sternbild der Cassiopeja legt und den Schnittpunkt desselben mit dem Äquator aufsucht. (Atlas!) Die „Länge" des Sternes wird dann auf dem Äquator von diesem Punkte aus im entgegengesetzten Sinne der täglichen Drehung des Himmelsgewölbes und zwar von 0^0 bis 360^0 gemessen und als Rektascension (Geradaufsteigung) bezeichnet.

Nehmen wir an, daß für den betrachteten Ort der Erde in Figur 1 die Sonne gerade im Osten aufginge, während sie sich im Frühlingspunkte des Äquators befindet, so wäre die Rektascension des Sternes S der größere Bogen Osten — D des Himmelsäquators oder

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

der zugehörige überstumpfe Mittelpunktswinkel bei „Erde". Da das Himmelsgewölbe eine volle Umdrehung von 360° in 24 Stunden vollendet, wird der Winkel der Rektascension auch in Stunden angegeben, wobei 15° = 1 Stunde sind.

Die „Breite" des Sternes wird vom Äquator aus nördlich oder südlich auf seinem Himmelsmeridian durch einen Bogen D S oder den zugehörigen Mittelpunktswinkel δ gemessen und als $+\delta$ oder $-\delta$, nördliche oder südliche Abweichung oder Deklination, bezeichnet.

b) In Beziehung auf den Horizont.

Wir denken uns das System des Himmelsäquators und der durchschneidenden Meridiane so verschoben, daß die Pole mit Zenith und Nadir, die Äquatorebene mit der Horizontalebene zusammenfallen, so können wir uns „Länge" und „Breite" eines Sternes auch in Bezug auf die Horizontalebene aufsuchen.

Der durch den Stern gelegte „Meridian" ist jetzt Zenith — S — C — Nadir; als „Nullmeridian" gilt der durch den Südpunkt des Horizonts gehende, also ist die „Länge" des Sternes S jetzt gemessen durch den Bogen Süden — C oder den zugehörigen Mittelpunktswinkel. Dieser Bogen heißt das Azimut des Sternes. Das Azimut wird von Süden über W., N., O. von 0° bis 360° gerechnet.

Die „Breite" des Sternes wird gemessen durch den Bogen S C oder den zugehörigen Mittelpunktswinkel, dieser Winkel S — Erde — C heißt der Höhenwinkel des Sternes, sein Komplementwinkel Zenith — Erde — S die Zenithdistanz.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Den Höhenwinkel des Himmelspoles über dem Horizonte nennt man kurz die Polhöhe. Dieselbe ist also auf dem Nordpol oder Südpol der Erde gleich 90^0, auf dem Äquator der Erde gleich 0^0, sie stimmt also überein mit der geographischen Breite, die ebenfalls an den Polen 90^0, am Äquator 0^0 beträgt.

Die allmähliche Zunahme der Polhöhe mit der geographischen Breite ist einer der wichtigsten Beweise für die Kugelgestalt der Erde. Daß allgemein die geographische Breite auf der Erde gleich der Polhöhe ist, ergibt sich aus Fig. 2. N S ist die Erdachse, A B ein Durchmesser des Äquators, M der Mittelpunkt der Erde, dann ist der Winkel P M B die geographische Breite eines Ortes P, der auf dem Meridian N B S A liegt. Legt man in P die Tangentialebene an die Erde, also die Horizontalebene für P, und zieht von P aus die Richtung nach dem Himmelspole P N′ // S N, so ist $\angle$ Q P N′ $=$ $\angle$ P M B, weil ihre Schenkel senkrecht auf einander stehen.

§ 4.

Die Bewegung der Sonne am Himmel.

An der scheinbaren täglichen Drehung des Sternenhimmels nimmt auch die Sonne teil. Während aber für die größte Mehrzahl der Sterne (Fixsterne = feststehende Sterne) die Zeit von einer Kulmination bis zur nächsten unveränderlich ist (Sterntag), ändert sich diese Zeit bei der Sonne, dem Monde und einer kleinen Anzahl von Sternen (Planeten = Wandelsterne) von Tag zu Tag, sodaß also bei diesen außer der allgemeinen scheinbaren Kreisbewegung am Himmel noch eine besondere Bewegung vorhanden sein muß.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Die Sonne kulminiert nicht immer mit demselben Fixstern zusammen, sondern sie verspätet sich jeden Tag durchschnittlich um 4 Minuten (Sonnentag = Sterntag + 4 Min.), also muß die Sonne am Himmel in einem Tage ihre Stellung gegen die Fixsterne von Westen nach Osten um ein kleines Stück (ungefähr 1^0) geändert haben. Nach 365 Tagen 6 Stunden 9 Minuten nimmt die Sonne wieder dieselbe Stelle am Himmel ein. Man nennt diese Zeit ein siderisches (d. h. durch die Stellung der Sonne zu den Sternen bestimmtes) Jahr. Der Weg, den die Sonne am Himmel während eines Jahres zurücklegt, heißt die Ekliptik. Dieselbe bildet einen größten Kreis am Himmel (siehe Atlas!), dessen Ebene gegen die Ebene des Äquators um $23^1/_2{}^0$ geneigt ist. (Schiefe der Ekliptik.) Die Ekliptik durchschneidet den Äquator in 2 Punkten. Sobald die Sonne diese Punkte erreicht, beschreibt sie während der täglichen Umdrehung des Himmels gerade den Himmelsäquator, dessen eine Hälfte über dem Horizonte liegt (Fig. 1), also ist Tag und Nacht gleich lang. Dies geschieht zweimal im Jahre zu Anfang des Frühlings und des Herbstes. Sie geht dann genau im Osten auf und im Westen unter. Wenn die Sonne im Frühlingspunkte steht (am 21. März), ist sowohl ihre Rektascension wie ihre Deklination gleich 0^0, am 21. Juni ist ihre Rektascension 90^0 (= 6 Stunden), die Deklination + $23^1/_2{}^0$. Im Herbstpunkte (23. September) hat die Sonne die Rektascension 180^0 (= 12 Stunden), die Deklination 0^0, am 21. Dezember die Rektascension 270^0 (= 18 Stunden) und die Deklination — $23^1/_2{}^0$.

Der Punkt der Frühlingstagundnachtgleiche rückt aber infolge einer geringen Schwankung der Erdachse (vergl. § 2) jährlich um fast eine Bogenminute der

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Sonne entgegen, sodaß die Sonne den Äquator früher schneidet, ehe sie einen ganzen Umlauf am Himmel vollendet hat. Die Zeit zwischen 2 Frühlingsdurchgängen heißt ein tropisches (d. h. von den Jahreszeiten abhängiges) Jahr, es ist um rund 20 Minuten kürzer als das siderische Jahr.

Das tropische Jahr wird dem Kalender zu Grunde gelegt, da man bei der Benutzung des siderischen Jahres für die Zeitrechnung sich immer mehr mit den Jahreszeiten in Widerspruch setzen würde. Das tropische Jahr hat eine Länge von 365 Tagen 5 Stunden 49 Minuten, das bürgerliche Jahr wird zu 365 Tagen gerechnet. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit einer Schaltrechnung. Auf Veranlassung von Julius Cäsar wurden im Jahre 45 v. Chr. auf einmal 67 vergessene Tage eingeschaltet, und von da ab alle 4 Jahre ein Tag im Februar eingefügt. Dabei wurden aber in je 4 Jahren 44 Minuten zuviel eingeschaltet, man blieb also in der Zeitrechnung etwas zurück, sodaß im Jahre 1582 die Frühlingstagundnachtgleiche schon auf den 11. März statt auf den 21. März fiel. Papst Gregor XIII. verordnete deshalb, daß im Oktober 1582 die 10 Tage wieder ausgelassen werden sollten (5. bis 14. Oktober). Ferner wurde bestimmt, daß die Jahre der Jahrhundertanfänge keine Schaltjahre sein sollten (1700, 1800, 1900), wenn nicht die Zahl der Hunderte durch 4 teilbar sei (2000). Die Russen haben jedoch diese Reform des Kalenders noch nicht eingeführt. (Julianischer und Gregorianischer Kalender.)

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

§ 5.

Doppelte Bewegung der Erde.

Wie sich die tägliche Umdrehung des Sternenhimmels als eine Täuschung herausgestellt hat, hervorgerufen durch die Drehung der Erde um ihre Achse (Rotation), so hat sich auch die scheinbare Bewegung der Sonne in der Ekliptik als eine Täuschung erwiesen, die bedingt wird durch eine gleichzeitige Bewegung der Erde um die Sonne (Kopernikus, vergl. § 1). Die Erde bewegt sich in einer geschlossenen Bahn um die Sonne (Revolution), dabei muß also das Bild der Sonne im Laufe des Jahres auf immer neue Gegenden des Sternhimmels projiciert werden. Die Richtung der Bewegung der Erde um die Sonne ist für einen innerhalb der Erdbahn auf der Tagseite der Erde befindlichen Beobachter von Osten nach Westen, da die Verschiebung der Sonne in der Ekliptik im entgegengesetzten Sinne erfolgt. Die Umdrehung der Erde um ihre Achse und der Umlauf um die Sonne erfolgen also im gleichen Sinne und zwar entgegengesetzt wie der Uhrzeiger, wenn man vom Nordpol der Erde aus sieht. Die Sterne des Sternhimmels, in deren Nähe die Sonne steht, werden nun infolge der Taghelle unsichtbar, die gerade diametral gegenüberliegenden Teile des Sternhimmels erscheinen uns zur Nachtzeit. (Änderung des nächtlichen Sternenhimmels im Laufe des Jahres.) Da die scheinbare Bahn der Sonne am Himmel im Laufe des Jahres, die Ekliptik, eine Ebene ist, so muß auch die Erdbahn eben sein. Die Erde bewegt sich um die Sonne in einer wenig abgeplatteten, fast kreisförmigen Ellipse, in deren einem Brennpunkt die

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Sonne steht. (Erstes Keplersches Gesetz.) Das Verhältnis der kleinsten und größten Entfernung von der Sonne ist 59 : 61. (Fadenkonstruktion der Ellipse.) Die kleinste Entfernung hat die Erde im Winter, die größte im Sommer, wenn wir unsere Jahreszeiten zu Grunde legen. (Vergl. dazu § 7.)

Da die Ebene der Ekliptik mit der Ebene des Äquators am Himmel einen Winkel von $23^1/_2{}^0$ bildet, so kann auch der Erdäquator nicht mit der Ebene der Erdbahn zusammenfallen, also kann die Erdachse nicht auf der Erdbahn senkrecht stehen, sondern muß gegen dieselbe um einen Winkel geneigt sein. Der Neigungswinkel ist gleich dem Komplement des Winkels von $23^1/_2{}^0$, also $66^1/_2{}^0$. Die Neigung der Erdachse gegen die Ebene der Erdbahn bleibt unveränderlich, ebenso muß die Richtung derselben im Weltenraume nach dem Beharrungsvermögen auch unveränderlich sein, abgesehen von den bereits erwähnten geringen Schwankungen, infolge deren die Erdachse im Laufe von ungefähr 25000 Jahren einen Kegelmantel beschreibt. Während also die Erde um die Sonne läuft, bleibt ihre Achse unveränderlich sich selbst parallel. (Tellurium.) Die Schnelligkeit, mit der die Erde sich um die Sonne bewegt, ist nicht ganz gleichmäßig, vielmehr läuft sie etwas schneller, wenn sie der Sonne näher ist, etwas langsamer in größerer Entfernung von derselben. Die Verbindungslinie der Mittelpunkte von Sonne und Erde überschreitet in gleichen Zeiten gleiche Flächenstücke (vergl. Fig. 3) der Ellipse. (Zweites Keplersches Gesetz.)

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

§ 6.

Folgerungen aus der doppelten Bewegung der Erde.

Die sich aus der doppelten Bewegung der Erde ergebenden Tatsachen können umgekehrt auch als Beweise für das Vorhandensein dieser Bewegungen angesehen werden, da wir direkt nichts von denselben wahrnehmen.

A. Für die Umdrehung.

1. Die Abplattung der Erde, die durch Gradmessungen nachgewiesen ist.

2. Die Verminderung der Schwerkraft auf der Erde nach dem Äquator zu infolge der Zentrifugalkraft (siehe Börner, Leitfaden der Physik § 38). (Pendelbeobachtungen.)

3. In der Ablenkung der Windrichtungen auf der Nordhälfte der Erde nach rechts, auf der Südhälfte nach links. Passate und Gegenpassate (siehe Börner, Ph. § 107).

4. Der Foucaultsche Pendelversuch. (S. Börner, Ph. § 37.)

5. Die östliche Abweichung eines von größerer Höhe herabfallenden, also mit größerer Drehgeschwindigkeit begabten Körpers. (Versuche von Benzenberg und Reich.)

B. Für den Umlauf um die Sonne.

1. Das Massenverhältnis von Sonne und Erde. Die Masse der Sonne ist über 300000 mal so groß wie die der Erde.

2. Die Rückläufigkeit der Planetenbahnen.

Die Planeten zeigen zwischen den Sternbildern des Fixsternhimmels eine eigene Bewegung. Diese Bewegung kehrt sich oft plötzlich um, es tritt eine Rückwärtsbewegung ein, dann wieder eine Vorwärtsbewegung, die nicht in derselben Ebene liegt, sodaß die Bahn am Himmel eine

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Schleife bildet. Diese Bewegungen waren früher nicht einfach zu erklären, bis man erkannte, daß die Planeten sich ebenfalls in konzentrischen Bahnen und in gleichem Sinne mit der Erde um die Sonne bewegen. Um die Stellung der Erde gegenüber einem anderen Planeten anschaulich zu übersehen, denken wir uns einen Radfahrer auf einer Chaussee fahrend, während in einiger Entfernung eine Eisenbahnlinie parallel verläuft. Fährt nun ein Eisenbahnzug in gleicher Richtung wie der Radfahrer, so werden die Insassen des Zuges das Bild des Radfahrers auf die dahinter liegende Landschaft projicieren und daran die fortschreitende Bewegung des Radfahrers erkennen. Nähert sich aber der Zug, so wird die Bewegung des Radfahrers immer langsamer erscheinen, und beim Überholen desselben wird scheinbar einen Moment ein Stillstand in der Bewegung des Radfahrers eintreten, und dann wird das Bild desselben in Bezug auf die dahinter liegende Landschaft rückläufig, es fällt wieder mit denselben Gegenständen des ferneren Hintergrundes zusammen, auf denen die Zuginsassen es vor der Annäherung erblickt hatten. Ähnliche Verhältnisse treten für die Erscheinungen der Planetenbewegung auf. Der Hintergrund ist der Sternhimmel, die konzentrischen Bahnen der Planeten können ebenfalls stückweise als gleichlaufend betrachtet werden. Da nun die Planetenbahnen nicht genau in derselben Ebene liegen wie die Erdbahn, sondern Winkel bis zu 17^0 damit bilden, so vollzieht sich die Rückläufigkeit nicht in derselben Linie am Himmel, sondern es tritt eine Schleifenbildung ein. Außerdem werden die entsprechenden Erscheinungen am Sternhimmel auch dadurch noch verwickelter, daß die Planetenbahnen Kreise sind und daher auch der Fall eintreten kann, daß

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

die Bewegung eines Planeten sich zeitweise nicht in derselben Richtung vollzieht wie die der Erde.

3. Der regelmäßige Wechsel der Jahreszeiten auf der Erde. (Vergl. den folgenden § 7.)

§ 7.

Die Zeitrechnung und die Jahreszeiten.

Als Einheit der Zeitrechnung empfiehlt sich eigentlich nur der Sterntag wegen der Unveränderlichkeit der Geschwindigkeit, mit der sich die Erde um ihre Achse dreht. (Vergl. § 4.) Wir würden aber bei Einführung desselben zur Zeitmessung uns in Widerspruch setzen zu dem Stande der Sonne, deren Licht für die meisten bürgerlichen Verrichtungen notwendig ist. Wenn wir dadurch gedrängt werden, nicht den Sterntag, sondern den Sonnentag als Einheit der Zeitrechnung zu wählen, so dürfen wir uns dabei nicht verhehlen, daß wir damit ein zuverlässiges Maß nicht gewonnen haben, weil die Bewegung der Erde in ihrer Bahn und damit die scheinbare Bewegung der Sonne in der Ekliptik keine gleichmäßige ist, und daher auch die Länge des Sonnentages veränderlich wird. Sie hängt nicht mehr allein von der Drehung der Erde um ihre Achse, sondern auch von dem Fortschreiten der Erde in ihrer Bahn um die Sonne ab. Es handelt sich dabei natürlich nicht um die Länge der Tageszeit im Gegensatz zur Nachtzeit, die dadurch ebenfalls veränderlich wird, sondern um die volle Tageslänge von einer Kulmination der Sonne bis zur nächsten. Da diese Zeit veränderlich ist, kann sie nicht als Einheit der Zeitmessung gewählt werden, sondern man hat dazu eine mittlere Zeiteinheit genommen, den mittleren Sonnentag, der mit dem wahren Sonnentag nur viermal im

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Jahre zusammenfällt, nämlich am 15. April, 15. Juni, 1. September und 24. Dezember. An allen anderen Tagen fällt die Mittagszeit, welche die Uhren angeben, nicht mit der Kulmination der Sonne zusammen, sondern es entstehen Abweichungen von + 14 Minuten bis — 17 Minuten. Eine Tabelle dieser Abweichungen für alle Tage des Jahres findet sich in jedem Kalender. Man nennt sie die Zeitgleichung. (Mittlere Zeit = wahre Zeit + Zeitgleichung.)

Die Abweichung unserer Uhren von der wahren Mittagszeit, wie sie durch die Kulmination der Sonne bestimmt ist, wird neuerdings noch vermehrt durch Einführung der mitteleuropäischen Zeit. Zwei Orte, die auf verschiedenen Meridianen liegen, haben auch zu verschiedenen Zeiten Mittag, da für den östlicher gelegenen die Sonne früher aufgeht, als für den westlicheren. Diese Differenz der Ortszeiten beträgt in Deutschland etwa 1 Stunde. Ein Reisender, der von Königsberg nach Köln reiste, mußte früher seine Uhr fortwährend nachstellen, da er nach Westen reiste. Die Abweichung der Ortszeiten hat sich im Eisenbahnverkehr als so störend erwiesen, daß man seit dem Jahre 1893 für Mitteleuropa eine mittlere Zeit eingeführt hat, nämlich die Ortszeit des 15. Meridians östl. v. Gr. Die Abweichungen der mitteleuropäischen Zeit von der Ortszeit im Osten und Westen unseres Vaterlandes betragen ungefähr 30 Minuten. Zu diesen Abweichungen kommen nun noch die Abweichungen der Zeitgleichung, sodaß die Lage unseres bürgerlichen Mittags oft erheblich von der Kulmination der Sonne abweicht. Am meisten bemerkbar macht sich die doppelte Abweichung in den Wintermonaten Januar und Februar. So z. B. ist die Zeitgleichung am 15. Februar

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

+ 14 Min., die Abweichung der mitteleuropäischen Zeit für Oschersleben beträgt + 16 Min. Wenn also am 15. Februar die Sonne kulminiert, zeigt eine Uhr nach Ortszeit 12 Uhr 14 Min., eine Uhr nach mitteleuropäischer Zeit in Oschersleben 12 Uhr 30 Min. Dadurch wird der Vormittag um eine halbe Stunde verkürzt, der Nachmittag um dieselbe Zeit verlängert, er erscheint also eine Stunde länger als der Vormittag, man bemerkt das Längerwerden der Tage in diesen Monaten besonders am Nachmittage.

Außer der mitteleuropäischen Zeit gibt es auch eine osteuropäische und eine westeuropäische Einheitszeit. Beim Überschreiten der russischen oder französischen Grenze findet ein plötzlicher Sprung von einer Stunde in der Zeitnotierung statt. Da sich die Zeitunterschiede zwischen östlichen und westlichen Orten der ganzen Erde schließlich zu einem vollen Tage summieren, so hat man sich zu der Einführung einer Datumgrenze genötigt gesehen, als welche der 180te Meridian gilt.

Der Wechsel der Jahreszeiten ist nicht nur durch die Bewegung der Erde um die Sonne bedingt, sondern auch durch die schiefe Stellung der Erdachse zu der Erdbahn. Wenn die Erdachse auf der Erdbahn senkrecht stände, so würde zwar auch der Einfallswinkel der Sonnenstrahlen mit der Horizontalebene allmählich vom Äquator zum Pol abnehmen und dadurch eine ungleiche Erwärmung der Erdoberfläche bedingt sein (s. Börner, Ph., § 102), es würden sich dann aber Zonen gleicher Erwärmung um die Erde bilden, innerhalb deren das ganze Jahr die klimatischen Verhältnisse unveränderlich sein würden. Dies ändert sich infolge der Neigung der Erdachse wesentlich, da dadurch die Zone der stärksten Erwärmung im Laufe

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

eines Jahres einmal nach Norden, ein andermal nach Süden verschoben wird.

Die schief stehende Erdachse kann durch parallele Verschiebung in Bezug auf die Sonne drei verschiedene Stellungen annehmen: 1. Nordpol und Südpol sind der Sonne gleich nahe (Frühling- und Herbststellung). 2. Der Nordpol ist der Sonne näher als der Südpol (Sommerstellung). 3. Der Südpol ist der Sonne näher als der Nordpol (Winterstellung). (Die Bezeichnung der Jahreszeiten ist im Sinne unserer Gegend gemeint.) a) Wenn der Nordpol und Südpol der Sonne gleich nahe sind (Tellurium!), so fallen die Sonnenstrahlen in der Äquatorialebene ein (Fig. 4), die Sonne beschreibt am Himmel den Himmelsäquator, geht genau im Osten auf und im Westen unter (Tag- und Nachtgleiche). Legt man in verschiedenen Punkten eine Horizontalebene an die Erde, so zeigt sich, daß in der Äquatorebene die Höhe der Sonne im Mittag 90° ist, die Sonne also im Zenith steht, und daß mit zunehmender Breite die Sonnenstrahlen immer schräger einfallen, der Einfallswinkel oder die Höhe der Sonne im Mittag gleich dem Complementwinkel der geographischen Breite ist. b) Ist der Nordpol der Sonne zugekehrt und der Südpol von ihr abgewendet (Fig. 5), so werden allmählich die Einfallswinkel auf der nördlichen Halbkugel immer größer, und zwar tritt das Maximum des Anwachsens am 21. Juni mittags mit einer Vermehrung um $23^1/_2$° ein. Der Einfallswinkel der Sonnenstrahlen am Nordpol, der im Frühling 0° betrug, ist jetzt auf $23^1/_2$° angewachsen, um den Pol herum liegt eine Zone (Polarzone), beginnend mit einer geographischen Breite von $66^1/_2$°, für welche die Sonne überhaupt nicht untergeht (Mitter-

nachtssonne). Nennen wir die geographische Breite eines Ortes der nördlichen Halbkugel φ, die Schiefe der Ekliptik ε, so ist der Einfallswinkel a der Sonnenstrahlen am Mittag des längsten Tages

$$a = (90^0 - \varphi) + \varepsilon \qquad \text{(Fig. 5).}$$

Die Erdoberfläche wird jetzt senkrecht getroffen von den Sonnenstrahlen in einem nördlich vom Äquator liegenden Parallelkreis (Wendekreis des Krebses) in einer Breite von $23^1/_2{}^0$. Dagegen findet auf der südlichen Halbkugel überall eine Verminderung des Einfallswinkels (im Maximum um $23^1/_2{}^0$) statt, am Äquator beträgt der Einfallswinkel $90^0 - 23^1/_2{}^0 = 66^1/_2{}^0$, um den Südpol herum liegt eine Zone (Polarzone), beginnend mit $66^1/_2{}^0$ südlicher Breite, die ganz im Schatten liegt, für die also die Sonne überhaupt nicht aufgeht. Es muß also im ganzen eine bedeutende Erwärmung auf der nördlichen, eine gleich starke Abkühlung auf der südlichen Halbkugel eintreten, die nördliche hat Sommer, die südliche gleichzeitig Winter.

c) Gerade umgekehrt liegen die Verhältnisse, wenn der Nordpol von der Sonne abgewendet, der Südpol ihr zugekehrt ist (Fig. 6). Sämtliche Einfallswinkel der Sonnenstrahlen im Mittage des 21. Dezember erfahren auf der nördlichen Halbkugel eine Verminderung um $\varepsilon = 23^1/_2{}^0$

$$a = (90^0 - \varphi) - \varepsilon$$

auf der südlichen Halbkugel eine Vermehrung um $23^1/_2{}^0$, die nördliche Halbkugel hat infolge der geringeren Erwärmung Winter, die südliche Sommer.

Senkrecht fallen die Sonnenstrahlen auf eine Zone der südlichen Halbkugel, die mit dem Parallelkreis $66^1/_2{}^0$ südl. Br. abschließt (Wendekreis des Steinbocks).

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Die Polarzone des Nordpols hat jetzt beständig Nacht, die Polarzone des Südpols fortwährend Tag.

Mit der veränderlichen Höhe der Sonne ändert sich auch der tägliche Bogen, den dieselbe über unserem Horizonte beschreibt. Im Sommer geht die Sonne im NO auf, im NW unter, der Tagebogen ist größer als ein Halbkreis. Im Winter geht die Sonne im SO auf und im SO unter, der Tagebogen ist kleiner als ein Halbkreis (vergl. § 4).

§ 8.

Der Mond.

Der Mond nimmt ebenfalls an der allgemeinen scheinbaren Bewegung des Sternenhimmels teil. Eine genauere Beobachtung zeigt uns aber, daß er seinen Platz zwischen den Fixsternen von Tage zu Tage ändert, und zwar in rückläufiger Bewegung um ungefähr 13°. Daher verspätet sich seine Kulmination von Tag zu Tag um etwa 52 Minuten. Der Mond muß also noch eine eigene Bewegung haben. Diese vollzieht sich in einer fast kreisförmigen Ellipse um die Erde herum, die Entfernung des Mondes ist also nicht unveränderlich. (Erdnähe und Erdferne.) Die Ebene der Mondbahn fällt nicht ganz mit der der Erdbahn zusammen, sondern ist um 5° gegen dieselben geneigt. Der Mond befindet sich also bald über, bald unter der Ebene der Ekliptik. Wäre dies nicht der Fall, so müßte bei jedem Umlauf des Mondes eine Mondfinsternis und eine Sonnenfinsternis eintreten. Da der Mond die Erde auf ihrem Laufe um die Sonne begleitet, so beschreibt er in Wirklichkeit keine geschlossene Bahn, sondern eine Schlangenlinie (siehe Atlas).

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Sein Licht empfängt der Mond von der Sonne, es kann also immer nur eine Hälfte des Mondes erleuchtet sein. Je nachdem uns diese erleuchtete Hälfte abgewendet oder mehr oder weniger zugewendet ist, verschwindet uns der Mond (Neumond) oder wird uns nur teilweise oder für kurze Zeit (Vollmond) auch ganz sichtbar (Mondphasen). Dabei wendet uns der Mond immer dieselbe Seite zu, dies ist nur möglich, wenn er sich bei seinem Umlauf um die Erde genau in derselben Zeit um seine Achse dreht. Beides geschieht in einer Zeit von 27 Tagen 7 Stunden 43 Minuten. (Siderischer Monat.) Da innerhalb dieses Monats sich nun aber auch die Stellung der Sonne am Himmel geändert hat, so ist damit der Mond noch nicht zu derselben Phase zurückgekehrt, dies geschieht vielmehr erst nach einer Zeit von 29 Tagen 12 Stunden 44 Minuten. (Synodischer Monat.)

Der Mond muß bei seinem Umlaufe um die Erde zweimal die Ebene der Erdbahn durchschneiden. Tritt dies zufällig in einer Phase des Neumondes oder Vollmondes auf, so steht der Neumond gerade zwischen Sonne und Erde und entzieht dieser das Licht der Sonne (Sonnenfinsternis), andererseits tritt der Vollmond in den Erdschatten ein. (Mondfinsternis.) Beide Ereignisse pflegen immer kurz hintereinander einzutreten mit einer Zeitdifferenz von 14 Tagen. (Neumond bis Vollmond.) Liegt der Mittelpunkt des Mondes nicht genau in der Ebene der Erdbahn, so tritt die Verfinsterung nur teilweise auf. (Atlas!)

Die Oberfläche des Mondes ist mit kraterartigen Gebirgen bedeckt, es ist sowohl die Anwesenheit von Wasser als auch von Luft auf der Oberfläche unwahrscheinlich.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Der Mond ist der der Erde am nächsten befindliche Weltkörper, er muß sie also nach dem Newtonschen Gravitationsgesetze (vergl. Börner, Ph. § 30) am meisten durch seine Anziehung beeinflussen. Das zeigt sich in dem regelmäßigen Wechsel von Ebbe und Flut. Liegt der Mittelpunkt der Erde in O (Fig. 7), der Mond in M, so wird der Punkt A der Erdoberfläche am stärksten, der Punkt B am schwächsten angezogen. Die Umgebung von A muß also mehr, die Umgebung von B weniger dem Monde sich nähern als die in mittlerer Entfernung liegenden Punkte C und D. Es muß also das Wasser der Oberfläche bei A in die Höhe gezogen werden, und das Wasser bei B hinter der Anziehung der Erde zurückbleiben, d. h. es wird sowohl auf der dem Monde zugewandten, als auch auf der abgewandten Seite eine Flutwelle entstehen. Diese Flutwelle umkreist die ganze Erde während der täglichen Umdrehung. Da aber der Mond inzwischen seinen Platz auch verändert hat, so tritt die Flut jeden Tag ungefähr eine Stunde später auf.

§ 9.

Die Entfernungen der Himmelskörper.

Wenn wir einen näheren Gegenstand vor einem entfernteren Hintergrunde betrachten, so verschiebt sich das Bild des Gegenstandes vor dem Hintergrunde, sobald wir selbst unseren Standpunkt ändern. Wird also ein Stern S von zwei verschiedenen Punkten A und B der Erde gleichzeitig betrachtet (Fig. 8), so erscheint derselbe von A aus im Punkte S_2 des Himmelsgewölbes, von B aus im Punkte S_1. Man nennt die Bogen- oder Winkelgröße, welche die Entfernung der beiden Punkte S_1 und

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

S_2 am Himmel mißt, die Parallaxe (Verschiebung) des Sternes. Wählt man nun die Punkte A und B der Erde so, daß sie auf demselben Meridian liegen, und der Stern S gleichzeitig für A im Zenith steht, während er für B gerade noch über dem Horizonte sichtbar wird, so kann man durch Messung des Winkels α der Parallaxe die Entfernung des Sternes bestimmen. Da der Stern für B in der Horizontalebene liegt, so nennt man diese Messung speziell die Horizontalparallaxe. Diese ist zunächst angewendet worden auf die beiden für uns wichtigsten Himmelskörper, die Sonne und den Mond. Die Horizontalparallaxe der Sonne beträgt $\alpha = 8{,}85''$.

Verlängert man nun in Fig. 8 die durch das Zenith gehende Linie A S rückwärts, so geht sie durch den Mittelpunkt M der Erde, und man erhält das rechtwinklige Dreieck M B S, in welchem der Erdradius M B und der gegenüberliegende Winkel α bekannt sind. Also ergibt sich die Entfernung M S durch die Formel

$$M\,S = \frac{r}{\sin \alpha}.$$

Dieser Wert beträgt für die Entfernung der Sonne rund 150 Millionen Kilometer oder 20 Millionen Meilen.

Aus der Entfernung der Sonne und dem scheinbaren Durchmesser derselben, der etwa $^1/_2$ Grad beträgt, kann dann weiter die wirkliche Größe derselben berechnet werden.

Dieselbe Berechnung ist für den Mond durchgeführt worden. Die Horizontalparallaxe des Mondes α_1 ist gleich $57' 3''$. Daraus ergibt sich eine mittlere Entfernung des Mondes von 384400 Kilometer oder 51800 Meilen. Der mittlere Sehwinkel des Monddurchmessers

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

ist ebenso wie der der Sonne ungefähr $^1/_2$ Grad, aus der bekannten Entfernung kann man dann die Größe des Monddurchmessers berechnen, gleich 1737 Kilometer oder 234 Meilen.

Versuche, eine Horizontalparallaxe der Fixsterne zu bestimmen, haben zu keinem Ergebnis geführt, ihre Entfernung ist also verglichen mit dem Erdradius ungeheuer groß. Wenn man dagegen statt des Erdradius als Standlinie der Winkelmessung den mittleren Radius der Erdbahn benutzt, so kann man für eine kleine Anzahl derselben eine Jahresparallaxe finden.

Alle diese Jahresparallaxen sind kleiner als eine Winkelsekunde, am größten für den uns nächsten Fixstern α im Sternbild des Centauren, nämlich 0,919″. Daraus berechnet sich die Entfernung dieses Sternes gleich 224500 Erdbahnradien oder $4^1/_2$ Billionen Meilen. Darauf folgt der Sirius mit einer Jahresparallaxe von 0,193″, was einer Entfernung von 1068800 Erdbahnradien entspricht.

Bei dem Polarstern ist die Jahresparallaxe gleich 0,076″, die Entfernung gleich 2714000 Erdbahnradien.

Um für derartige Entfernungen eine Vorstellung zu gewinnen, gibt man die Zeit an, die das Licht gebraucht, um von diesen Sternen bis zur Erde zu gelangen. Während das Licht der Sonne 8 Minuten gebraucht, um die Erde zu erreichen, muß es vom Stern α des Centauren $3^1/_2$ Jahre, vom Sirius 16 Jahre, vom Polarstern 42 Jahre wandern, ehe es die Erde erreicht.

Die Parallaxen der Planeten sind wegen ihrer geringen Entfernung ungleich bedeutender. Es ist neuer-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

dings gelungen, photographische Aufnahmen von Planeten an verschiedenen Tagen (z. B. vom Saturn am 9. und 10. Juni 1899 vor dem Sternbild des Schlangenträgers, aufgenommen von Professor M. Wolf in Heidelberg) paarweise im Stereoskop so zusammenzustellen, daß der Planet deutlich als vor dem Hintergrunde des Fixsternhimmels schwebend zu erkennen ist.

§ 10.

Das Sonnensystem.

Außer der Erde kreisen noch eine Anzahl von Weltkörpern um die Sonne, die man unter dem gemeinsamen Namen des Sonnensystems zusammenfaßt. Unter diesen sind in erster Linie die fünf Planeten bemerkenswert, die mit bloßem Auge sichtbar sind und deshalb schon im Altertum bekannt waren, Merkur, Venus, Mars, Jupiter, Saturn. Die Bahnen von Merkur und Venus liegen innerhalb der Erdbahn, die der drei anderen Planeten umschließen die Erdbahn.

Im Fernrohr erscheinen die Planeten als Scheiben, man sieht auch auf den meisten hellere und dunklere Flecke und Streifen, mit Hülfe deren man die Rotationsgeschwindigkeit derselben bestimmt hat. Mehrere dieser Planeten sind von einer Anzahl Monde begleitet, Saturn besitzt außerdem noch das in seiner Äquatorebene liegende Ringsystem von 3 festen konzentrischen Ringen, das für die Annahme der Entwicklung des Sonnensystems nach der Kant-Laplaceschen Hypothese so wesentliche Fingerzeige gibt.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Merkur wird wegen seiner großen Sonnennähe nur selten sichtbar und zwar im günstigsten Falle etwa eine Stunde nach Sonnenuntergang oder eine Stunde vor Sonnenaufgang, wo er als ein schwaches Lichtpünktchen doch leicht in der Dämmerung übersehen wird.

Venus erscheint als hellster Stern des Himmels und zwar entweder nach Sonnenuntergang als Abendstern oder vor Sonnenaufgang als Morgenstern. Im Fernrohr zeigt sie nicht immer eine volle Scheibe, sondern bietet öfter nur eine schmale Sichel dar (wie unser Mond), gerade als letztere erscheint sie aber dem Auge am hellsten, da sie der Erde dann am nächsten steht.

Mars fällt am Himmel leicht durch sein rötliches Licht auf, er steht für die Beobachtung von der Erde aus am günstigsten da und zeigt im Fernrohr eine große Veränderlichkeit seiner Oberfläche (Marskanäle). Die Deutungen der auf der Marsoberfläche sichtbaren Gebilde gehen noch sehr weit auseinander.

Jupiter ist der größte aller Planeten (vergl. Atlas), er erscheint nächst der Venus als der hellste Stern des Himmels. Im Fernrohr zeigt seine Oberfläche an den Polen Flecke, in der Äquatorzone langgestreckte Streifen. Er besitzt 5 Monde, die sehr häufig durch ihn verfinstert werden. Die scheinbaren Verzögerungen in der regelmäßigen Folge der Verfinsterungen führten Olaf Römer 1675 zu der ersten Bestimmung der Geschwindigkeit des Lichtes.

Saturn bietet im Fernrohr durch sein Ringsystem einen sehr interessanten Anblick dar. Die 3 konzentrischen Ringe liegen in der Äquatorebene des Saturn und sind

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

ganz flach. Da die Ebene ihrer Fläche nicht mit der Ebene der Erdbahn zusammenfällt, so sieht man im Verlauf mehrerer Jahre die Ringe in perspektivischer Verkürzung entweder als Ellipsen oder sogar nur als eine feine Linie, wenn sie uns den Rand ihrer Fläche zukehren. Saturn besitzt außerdem noch 8 Monde, deren Abschleuderung von dem sich bildenden Hauptkörper nebst der Ringbildung und der starken Abplattung erklärlich wird, wenn man die für den großen Planeten erstaunlich geringe Rotationszeit von etwa 10 Stunden berücksichtigt.

Außerhalb der Saturnbahn umkreisen die Sonne noch 2 Planeten, die nur dem bewaffneten Auge auffindbar sind, Uranus und Neptun.

Ferner befindet sich zwischen der Bahn des Mars und Jupiter eine verhältnismäßig große Lücke, die ausgefüllt ist von über 400 kleinen Weltkörpern, den Planetoiden. Dieselben sind vielleicht als Bruchstücke eines dort befindlichen Ringes oder größeren Planeten aufzufassen.

Seltenere und unregelmäßige Gäste des Sonnensystems sind die Kometen, die sich durch ungeheure Ausdehnung bei geringer Masse auszeichnen. Ihre Masse ist so dünn, daß man durch den Körper der Kometen hindurch andere Sterne sehen kann. Die Bahnen der Kometen sind sehr lang gestreckt und nicht immer geschlossen, sodaß nur bei einer beschränkten Anzahl die Wiederkehr vorausgesagt werden kann.

Eine Übersicht über die Größe, Dichtigkeit, Umlaufs- und Umdrehungszeit u. s. w. der Körper des Sonnensystems gibt folgende Tabelle:

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

	Mittlere Entfernung von der Sonne in Millionen km	Siderische Umlaufszeit um die Sonne in Tagen	Zeit der Achsendrehung	Äquator-Durchmesser in km	Dichtigkeit (Wasser = 1)	Abplattung	Zahl der Monde
Sonne	—	—	25,5 T	1391000	1,41	—	—
Merkur	57,9	87,97	87,9 T ?	4800	4,85	—	—
Venus	108,1	224,7	224,7 T ?	12600	5,34	—	—
Erde	149,5	365,256	23 h 56 m	12756	5,56	$\frac{1}{299}$	1
Mars	227,8	687	24 h 37 m	6730	4,11	$\frac{1}{210}$	2
Planetoiden	303 bis 546	—	—	—	—	—	—
Jupiter	777,7	4333	9 h 55 m	141100	1,3	$\frac{1}{14}$	5
Saturn	1428,2	10759	10 h 29 m	118600	0,69	$\frac{1}{11}$	8
Uranus	2872,5	30688	9 h 30 m ?	54000	1,1	—	4
Neptun	4500	60186	?	48400	1,7	—	1

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Über die stoffliche Zusammensetzung der Himmelskörper gibt uns die Spektralanalyse Auskunft. Danach besteht die Sonne aus einem glühenden Kern, der ein ununterbrochenes farbiges Spektralband erzeugt, und aus einer glühenden Gashülle, welche dieselben Stoffe, wie der Kern in Dampfform enthält und dadurch einen Teil des vom Kerne ausgehenden Lichtes absorbiert. (Fraunhofersche Linien.)

Die meisten irdischen Stoffe sind spektralanalytisch als in der Sonne ebenfalls vorhanden nachgewiesen worden. Die Temperatur der Sonne ist so hoch, daß auch der Sonnenkern nicht fest oder flüssig sein kann. Kern und Hülle können sich also nur dadurch unterscheiden, daß die Hülle infolge der Wärmeausstrahlung eine niedrigere Temperatur besitzt.

Um die Gashülle der Sonne legt sich noch eine zweite feinere Hülle, die nach der Spektraluntersuchung aus Wasserstoff besteht und fortwährend in heftigster Bewegung ist. (Protuberanzen.)

Auch der Kern und die Hülle der Sonne müssen in lebhafter Bewegung sein, da häufig auf der Oberfläche der Sonne Flecke von ungeheurer Ausdehnung entstehen, die ihre Gestalt in kurzer Zeitfolge ändern. Die Flecke haben einen dunklen Kern, der von einem helleren zerfetzten Rand umgeben ist. Mit Hülfe der Sonnenflecke läßt sich nachweisen, daß die Sonne sich um eine Achse dreht und daß die Rotationsachse der Sonne auf der Erdbahn nicht senkrecht steht, sondern mit ihr einen Winkel von 83° bildet.

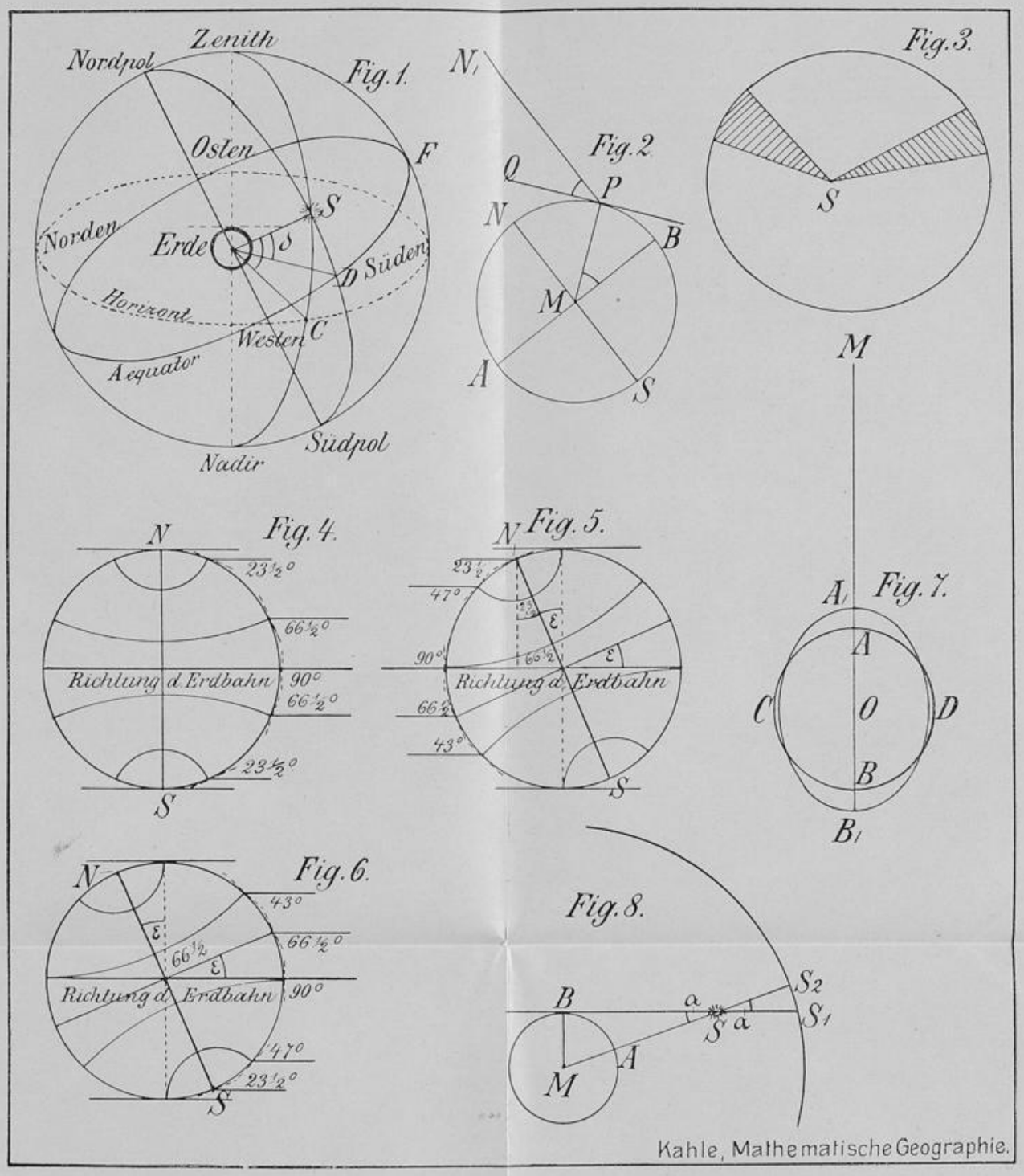
Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

der Himmels=
se Auskunft.
enden Kern,
band erzeugt,
elche dieselben
t und dadurch
Lichtes absor=

spektralana=
nden nachge=
ne ist so hoch,
ssig sein kann.
adurch unter=
neausstrahlung

ich noch eine
Spektralunter=
hrend in hef=
)
Sonne müssen
uf der Ober=
sdehnung ent=
ändern. Die
einem helleren
der Sonnen=
sich um eine
er Sonne auf
mit ihr einen

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf



Kahle, Mathematische Geographie.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf