Kosmische Messungen.

> Es ist zu wünschen, daß die Programmabhandlungen populär wissenschaftlich, d. h. so abgefaßt seien, daß sie von einem guten Primaner mit Nutzen gelesen werden können.
>
> (Duden, zur Programmfrage, These 5, Zeitschr f. Gymnasialw. 1867, Seite 501).

Als vor mehreren Jahren Herr Baron von Heugel auch in Bunzlau populäre Vorlesungen über Astronomie hielt, und dabei über Entfernung und Größenverhältnisse der Himmelskörper einige Angaben zusammenstellte, erklärte dem Verfasser der nachstehenden Blätter ein neben ihm sitzender, den gebildeten Ständen angehörender Bunzlauer Bürger: „Das ist ja doch Alles Schwindel; denn die Herren Astronomen können doch auch nicht hinaufsteigen, um das Alles zu messen.“ Diese Aeußerung veranlaßte den Verfasser, als die Reihe, die Beilage zum Programm zu liefern, ihn traf, diese kosmischen Messungen zum Gegenstande einer möglichst allgemein verständlichen Abhandlung zu machen, und aus diesem Gesichtspunkte wollen die nachfolgenden Blätter angesehen sein. Aus diesem Grunde ist alles litterarische und critische Beiwerk, das vielleicht nur für den Einen oder Andern der Herren Fachgenossen, der sich eingehender mit diesem Gegenstande zu beschäftigen wünscht, von einigem Interesse sein dürfte, in die am Schlusse angehängten Anmerkungen verwiesen, während Anmerkungen, welche, um Dietrichs auf der Görlitzer Versammlung der niederschlesischen Gymnasiallehrer eingeführten, sehr bezeichnenden Ausdruck zu gebrauchen, „gelegentlichen Unterricht“ enthalten, am Ende der jedesmaligen Seite angebracht sind. Einzelne hie und da eingestreute Fragen und Aufgaben sind für die bereits vorgerückteren Schüler des Verfassers berechnet.

Alle Messungen im Weltgebäude setzen die Kenntniß der Größe unserer Erde voraus, und da eine Messung dieser wiederum nicht denkbar ist ohne eine wenigstens oberflächlich richtige Erkenntniß von der Gestalt der Erde, so finden unsre Betrachtungen ihren natürlichen Ausgangspunkt in der allmähligen historischen Entwickelung dieser Erkenntniß.

I. Gestalt der Erde.

Der erste sinnliche Eindruck, welchen wir bei oberflächlicher Betrachtung von der Gestalt der Erde bekommen, ist der einer großen kreisrunden Ebene, in deren Mitte wir uns befinden. Gestalt der Erde,

Diesem Eindrucke sich hingebend hielten die alten Griechen die Erde für eine runde, ruhende, den ehernen Himmel tragende und von einem großen Strome, dem 'Ωκεανός umfluthete Scheibe, als deren Mittelpunkt sie den Olymp, später, seit Anschylus, Delphi ansahen. nach der Vorstellung der alten Griechen, der Inder, Eben so hielten die Inder einen ungeheuern Berg zugleich für den Sitz ihrer Götter und für den Mittelpunkt der Erde, welche sie sich als eine auf dem Meere schwimmende Scheibe dachten.

Israeliten, Auch die Israeliten sahen den heiligen Berg Zion für den Mittelpunkt der Erde an, wie denn überhaupt die Meinung, grade auf der Mitte der Erde zu wohnen, bei den meisten Völkern im Anfange ihrer Culturentwickelung geherrscht zu haben scheint [1]) und bei den Chinesen noch jetzt herrschen soll.

Die altgriechische Vorstellung von der Scheibenform der Erde finden wir vorzugsweise bei Homer vertreten, und auch der mindestens zwei Jahrhunderte später (800 v. Chr.) lebende Hesiod huldigt noch ganz entschieden derselben Ansicht. Nach Schönfeld [2]) und Cantor [3]), welcher Letztere sich dabei auf Röth [4]) beruft, soll indeß schon der alte Milesier Thales (639—548 v. Chr.) [5]) die Erde als Kugel gedacht haben „schwimmnnd auf einer Wassermasse, welche durch den ausgeübten Druck zwischen dem Rande des Erdkreises und dem Himmelsgewölbe als Meer emporgeschwellt wurde.“ Leider sind dem Verf. die von Schönfeld und Cantor angeführten Quellen nicht zugänglich gewesen; vergleicht man indeß Humboldt [6]), welcher wiederholt [7]) von der „Scheibe des Thales“ spricht, so scheint es fast, als ob Röth aus einer von Humboldt als ungenau charakterisirten Quelle geschöpft habe. Daß und warum die vielfach angeführte Vorhersagung der berühmten Sonnenfinsterniß, welche der Schlacht zwischen Medern und Lydiern ein Ende machte (585 v. Chr., d. 28. Mai Julianischen Stils), keinen durchschlagenden Beweis dafür abgeben könne, daß dem Thales schon die Kugelgestalt der Erde bekannt gewesen sei, wird von Schönfeld selbst ausführlich auseinandergesetzt. Zudem scheint festzustehen und wird auch von Cantor selbst angegeben, daß des Thales Mitbürger, Freund und Schüler Anaximander (611— bald nach 547) „bei Ausbildung dieser Lehre wieder zur altgriechischen Ansicht zurückging“, was mit der Annahme, daß sein Lehrer die Kugelgestalt der Erde gekannt habe, nicht wohl vereinbar erscheint. Dem Anaximander ist die Erde ein kurzer Cylinder (Scheibe), dessen Höhe gleich dem dritten Theile des Durchmessers der Grundfläche ist [8]), und deren obere Grundfläche bewohnt ist. Dagegen erhebt er sich zu dem Gedanken, die Erde frei schwebend in der Mitte der Weltkugel ruhen zu lassen, „weil kein Grund vorhanden sei, warum ein Körper der sich in der Mitte einer hohlen Kugel befinde, sich nach irgend einer Seite hin vorzugsweise bewegen solle.“ Damit läßt sich nun freilich wieder nicht zusammenreimen, wie dem Anaximander außer der Erfindung der Landkarten auch die des „Erdglobus oder Erdapfels“ [9]) zugeschrieben werden kann, und Letzteres ist deshalb ernstlich zu bezweifeln. [10])

Anaximenes, Xenophanes, Eine ähnliche Ansicht vertreten auch des Anaximander Schüler und Landsmann Anaximenes (550 v. Chr.) und der berühmte Stifter der eleatischen Schule, der Kolophonier Xenophanes (536 v. Chr.) [11]), nur mit der Maßgabe, daß, indem Beide die der Wahrheit näher kommende Gleichgewichtstheorie des Anaximander verlassen, der Erstere die Erde, die ihm die Gestalt eines flachen Trapezes hat (wobei „Trapez“ nicht in der jetzt üblichen mathematischen Bedeutung zu verstehen, sondern ἡ τραπεζα etwa mit „Tischplatte“ zu übersetzen ist), auf der durch sie zusammengepreßten Luft [12]) der untern Halbkugel des Himmels ruhen, der Letztere sie im Unendlichen wurzeln ließ.

Hekatäos, Auch der durch seine historischen und geographischen Schriften, sowie als Kartenzeichner berühmte große Reisende Hekatäos von Milet (geb. 549, gest. nach 477 v. Chr.), von dem wahr-

1) Die im Texte vorkommenden Zahlen [1])—[208]) beziehen sich auf die am Ende der Arbeit abgedruckten Anmerkungen.

scheinlich der von dem persischen Statthalter Aristagoras dem Spartanerkönige Kleomenes vorgezeigte Erdabriß auf einer ehernen Tafel, der von Herodot (V., 49) erwähnte πίναξ herrührt, hält die Erde für einen vom Ocean, im Gegensatze mit dem er das mittelländische Meer τὴν μεγάλην θάλασσαν nennt, umflossene Scheibe. [13])

Dieselbe Anschauung finden wir bei dem alten Logogryphen Pherekydes (um 500 v. Chr.) von der Insel Leros, seines längeren Aufenthalts in Athen wegen bisweilen auch der Athener genannt. [14]) Pherekydes,

Auch Herodot (484—408 v. Chr.), der eigentliche Schöpfer der alten Geographie, hält die Erde für eine im Mittelpunkte des Weltalls ruhende Scheibe und unterscheidet sich nur dadurch von seinen Vorgängern, daß er ihr nicht eine kreisförmige, sondern eine länglich runde Gestalt und den Ocean nicht als fließenden Strom, sondern als Weltmeer zur Umfassung gab. Herodot,

Dagegen dachte sich Leukippos (um 500 v. Chr.), der eigentliche Begründer der Atomenlehre, die Erde in Form einer Pauke (σχῆμα τυμπανοειδὲς) oder einer Halbkugel mit ebener Basis, deren Krümmung er sich als den bewohnten Theil dachte. [16]) Leukipp,

Dieser Vorstellung von einer convexen Erdfläche steht die des Abderiten Demokritos (460—362 v. Chr.) [17]), des allezeit lachenden Philosophen, gegenüber, der die Erde für eine längliche Mulde oder Schüssel hielt [18]), welche Vorstellung der eines Schiffsboots bei den Chaldäern nicht unähnlich ist und wahrscheinlich in der Muldenform des Mittelmeers ihren Grund hat. Demokrit. d. Chaldäer,

Andere sollen die Erde für einen Würfel, noch andere für einen Kegel, wieder andere für eine Pyramide gehalten haben. [19]) Wer sich zuerst für die Kugelgestalt der Erde ausgesprochen habe, läßt sich mit Sicherheit wohl nicht mehr ermitteln; nur so viel scheint festzustehen, daß diese Idee von der Schule der Pythagoräer ausgegangen ist, weshalb meist dem Pythagoras selbst (geb. in den ersten Jahrzehnten des 6. Jahrh., gest. nicht lange nach 510 v. Chr.) [20]) dieses Verdienst zugeschrieben wird, was jedoch Forbiger [21]) als ungewiß hinstellt, indem er zum Beweise dafür, daß die Pythagoräer sich jedenfalls nur unklar über diese Ansicht ausgesprochen haben könnten, anführt, daß noch Achill. Tat. Isag. in Arati Phaen. p. 131 behaupten konnte, sie gäben der Erde die Gestalt eines Kubus. Dagegen steht es nach Humboldt [22]) von den Pythagoräern Hiketas und Ekphantus (beide aus Syrakus) fest, daß ihnen die Idee von der Kugelgestalt der Erde eigenthümlich war. Pythagoräer,

Von dem Klazomenier Anaxagoras (500—128 v. Chr.) [23]) wird behauptet, er habe die Scheibengestalt der Erde gegen die Kugelgestalt vertheidigt [24]), ein Beweis, daß die Kugelgestalt zu seiner Zeit schon mit Bestimmtheit behauptet sein mußte, wenn sie auch selbst von den Gelehrten noch nicht allgemein angenommen war, was auch aus der oben erwähnten gänzlichen Ignorirung dieser Ansicht durch Herodot und aus der abweichenden Ansicht des Demokrit hervorgeht. Anaxagoras,

Dagegen soll der Eleate Parmenides, dessen Blüthezeit in die Mitte des 5. Jahrhunderts v. Chr. fällt, und welcher viel mit Sokrates verkehrte, die Erde als Kugel betrachtet und sie in Zonen abgetheilt haben. Parmenides,

Plato (429—348 v. Chr.) soll sich nach Brettner [25]) die Erde als einen Würfel gedacht haben, welchen er für den vollkommensten Körper gehalten hätte. Dies beruht jedoch wahrscheinlich auf einer vielleicht aus dem Zusammenhange gerissenen und deshalb mißverstandenen Stelle des Timäus, wo es allerdings [26]) heißt: „der Erde nun geben wir die Gestalt eines Würfels (γῇ μὲν δὴ τὸ κυβικὸν εἶδος δῶμεν).“ An dieser Stelle ist aber offenbar nicht von der Erde im Großen und Ganzen die Rede, sondern von demjenigen der vier Elemente, welches die Plato, Alten im Gegensatz zu Feuer, Luft und Wasser Erde nannten, und der Würfel als derjenige der 5 regulären mathematischen Körper, welcher nach der Ansicht Plato's die stabilste Grundlage hat (τὰς βάσεις ἀσφαχεστάτας ἔχον)[27], wird als die Form der Elementaratome der Erde aufgestellt, grade so, wie dem Wasser, der Luft und dem Feuer die Formen des regulären Icosaëders, Octaëders und Tetraëders zugetheilt werden. Grade so wenig nun, wie man berechtigt wäre, daraus zu schließen, Plato habe sich das Meer in Form eines Ikosaëders, die Atmosphäre in Form eines Octaëders gedacht, kann man aus der citirten Stelle den Schluß ziehen, er habe sich die Erde in Form eines Würfels vorgestellt, sondern nur den, daß er sie sich aus lauter kleinen Würfeln bestehend gedacht habe. Wie er sich diese im Großen und Ganzen vorgestellt hat, hat er sonderbarer Weise in keiner der vielen Stellen, an denen in seiner phantasiereichen Manier von der kosmischen Stellung und Bedeutung der Erde die Rede ist[28]), bestimmt und deutlich ausgesprochen. Fasst man aber alle diese Stellen im Zusammenhange auf, so scheint aus denselben hervorzugehen, daß Plato sich die Erde als **Kugel** vorgestellt hat. Am deutlichsten leuchtet diese Meinung aus Tim. 62 u. 63, A. hervor, wo von der centripetalen Wirksamkeit der Schwere die Rede ist, der rohe sinnliche Unterschied von unten und oben als für kosmische Verhältnisse unhaltbar nachgewiesen und der Begriff des antipoden Verhältnisses ausdrücklich erörtert wird.[29]) Die wunderbare mythische Erzählung des Plato[30]) von einer großen Insel, Atlantis, jenseit der Säulen des Herkules, läßt beinahe schon bei den alten Aegyptern eine dunkle Kenntniß von Amerika vermuthen, auf welches wunderbar paßt, was dort über Länge, Größe und Schätze jener Insel erzählt ist.[31])

Philolaos, Eudoxos. Auch des Plato Zeitgenossen und Freunde, **Philolaos** von Tarent (um 380 v. Chr.) und **Eudoxos** von Knidos (um 360 v. Chr.), der Erfinder des später so berühmt gewordenen Ptolemäischen Sonnensystems, nahmen die Kugelgestalt der Erde an. Der Letztere theilte den Umfang derselben in 60 Abschnitte und rechnete davon auf die heiße Zone 8, auf jede der beiden gemäßigten 5 und auf jede der beiden kalten 6.[32])

Aristoteles. Viel bestimmter spricht sich **Aristoteles** (384—322 v. Chr.) über die Kugelgestalt der Erde aus, indem er dieselbe nicht nur behauptet, sondern auch schon aus der beobachteten Neigung gleichartiger Stoffe, Kugelgestalt anzunehmen, aus der Gestalt des Erdschattens bei Mondfinsternissen, aus der Thatsache, daß schon bei einer mäßigen Ortsveränderung nach Nord oder Süd ein Theil der über dem Horizont sichtbaren Sterne wechselt, so wie aus der Thatsache, daß frei fallende Körper sich nicht in parallelen Linien, sondern nur unter kleinen Winkeln gegen die Erde bewegen, beweist, auch ausdrücklich auf die sphärische Krümmung der Meeresoberfläche hinweist, indem er sagt: „da das Wasser immer in Vertiefungen zusammenrinnt, tiefer aber das ist, was dem Mittelpunkte näher ist, so muß das Wasser so lange in die Tiefe laufen, bis alle Tiefen ausgeglichen sind, d. h. bis seine Oberfläche an allen Punkten gleichweit vom Mittelpunkte entfernt ist.“[33]) Aristoteles war es auch, der, als sein berühmter Schüler, Alexander der Große, durch seine kühnen Eroberungszüge nach Indien der geographischen Wissenschaft neue Wege bahnte, durch seine Betrachtungen über die Gestalt der Erde auf die Idee der Nähe von Indien zu den Säulen des Herkules geleitet wurde. Er sagt: „Diejenigen, welche annehmen, es hänge die Gegend um die Säulen des Herkules mit jener um Indien zusammen, und es sei auf diese Weise das Meer eins, scheinen hiermit nicht allzu Unglaubliches anzunehmen.“[34]) Hierauf werden die sowohl in Afrika als in Indien vorkommenden Elephanten als Beweis für den Zusammenhang beider Erdtheile angeführt. Aristoteles hält es auch[35]) für sehr wahrscheinlich, daß außer der großen Insel, welche Europa, Asien und Afrika bilden, noch andere von größerer oder geringerer Ausdehnung in der entgegengesetzten Halbkugel vorhanden seien. Die überwältigende Autorität des Aristoteles bewirkte eine allgemeine Annahme der Ansicht von der Kugelgestalt der Erde bei den Gelehrten seiner Zeit und der kommenden Zeiten.

Sein Schüler Dicäarchos aus Messina (ums Jahr 310 v. Chr.) fügte zu den Aristotelischen Beweisen noch den der Verschiedenheit des Auf- und Unterganges der Sonne hinzu. Dicäarchos,

Die eifrigsten Vertheidiger fand die Kugelgestalt der Erde in der stoischen Schule (gestiftet um's Jahr 300 v. Chr. von Zeno aus Kittion auf Kypros), und nur eine philosophische Schule, die des Epikuros (geboren 342, gest. 271 v. Chr.) die überhaupt die wunderlichsten und ungereimtesten Ansichten über physikalische und astronomische Dinge aufstellte, bestritt diese Meinung und kehrte zu der anaxagoräischen Annahme einer flachen Erde zurück. Epicur erklärte es für unmöglich, daß Alles zur Mitte hinstrebe und in sich selbst stehe, daß die Lasten unter der Erde gleich den Steinen im Wasser sich niederwärts richten, und die Lebenden dort so wenig in den unteren Himmel hinunterfallen, als wir emporfliegen, und daß wir abwechselnd mit ihnen Tag und Nacht haben, und behauptet, die Erde ruhe als Scheibe in der Mitte des Himmels auf der angeborenen Luft, der sie nicht schwerer sei, als unser Haupt dem Halse.[36] der Stoiker, Epikuräer,

Unter den Mathematikern des Alterthums, welche die Kugelgestalt der Erde ausdrücklich bewiesen und in diese Kugelgestalt namentlich auch das die Erde umgebende Meer mit aufnahmen, fehlt natürlich nicht der altberühmte Archimedes (287—212 v. Chr.), der weitaus größte Mathematiker des Alterthums und zugleich einer der größten Mathematiker aller Zeiten.[37] des Archimed,

Er hing durch seinen Freund, den Samier Konon (um 300—260 v. Chr.) mit der berühmten Schule der Alexandriner zusammen, der wir die eigentliche Begründung der wissenschaftlichen Geographie verdanken. Hier steht in dieser Beziehung obenan der berühmteste der alexandrinischen Bibliothekare, der Mathematiker und Astronom Eratosthenes aus Kyrene (geb. 276, gest. 196 od. 194 v. Chr.), welcher die ihm offen stehenden geographischen Schätze der großartigsten Bibliothek des Alterthums benutzte, um sie zu einer systematischen Universalgeographie zu verarbeiten, und dem wir nicht nur die ersten nach mathematischen und astronomischen Lehrsätzen construirten Erdkarten verdanken, auf welcher Längen- und Breiten-Kreise, Polar- und Wende-Kreise u. s. w. angegeben waren[38]), sondern der auch die erste wissenschaftliche Ausmessung der Erde veranstaltete, von der weiter unten ausführlicher die Rede sein wird. Eratosthenes

Von der alexandrinischen Schule verbreitete sich das Licht der Wahrheit auch bis zu den gelehrigen Schülern des griechischen Geistes, den die Welt erobernden Römern, denen zu Cicero's Zeit die Kugelgestalt der Erde als eine ausgemachte Wahrheit galt, wie u. a. aus Cicero's Tuscul. I., 28, 68 zu ersehen ist, wo Cicero die Erde freilich wunderlicher Weise globum eminentem e mari nennt, ein Ausdruck, gegen den die Ansicht Ovid's, die er im 6. Buche seiner Fasten Cicero, Ovid,

vv. 269 u. 270: Terra pilae similis nullo fulcimine nixa
Aëre subjecto tam grave pendet onus.
u. vv. 277 u. 278: Arte Syracosia suspensus in aëre clauso
Stat globus, immensi parva figura poli.

ausspricht, sehr zu ihrem Vortheil absticht. Hier schwimmt die Erdkugel nicht, wie bei Cicero, auf dem Meere, sondern schwebt frei in der Luft. Die „Ars Syracosia“ ist wahrscheinlich eine Anspielung auf eine von dem Syrakusier Archimedes construirte Himmelskugel, welche zur Darstellung der Bewegung der Gestirne diente, und von der Cicero, Tusc. I, 25, bewundernd ausruft: „Quodsi in hoc mundo fieri sine Deo non potest, ne in sphaera quidem eosdem motus Archimedes sine divino ingenio potuisset imitari.“

Auf Eratosthenes stützt sich vornehmlich das Riesenwerk des berühmtesten Geographen
Strabo, des Alterthums, des geistreichen Amasiers Strabo (66 v. Chr. — 24 n. Chr.), der nicht nur die Kugelgestalt der Erde annahm, sondern in glücklicher Ahnung sogar schon den Gedanken aussprach, daß zwischen den Küsten des westlichen Europa und des östlichen Asien noch eine oder selbst mehrere bewohnbare Ländermassen liegen könnten, mit Menschen bevölkert, welche von uns verschieden sind [39]), und daß es kein anderes Hinderniß gäbe, von Iberien nach Indien zu segeln, als die übermäßige Breite des atlantischen Oceans (*Εἰ μὴ τὸ μέγεθος τοῦ Ἀτλαντικοῦ πελάγους ἐκώλυε, κἂν πλεῖν ἡμᾶς ἐκ τῆς Ἰβηρίας εἰς τὴν Ἰνδικὴν διὰ τοῦ αὐτοῦ παραλλήλου.*) [40])

Seneca, Dagegen versicherte der Lehrer Nero's, der Philosoph Lucius Annäus Seneca, im Prolog seiner Naturales Questiones, § 13, daß die Entfernung zwischen Spanien und Indien nicht bedeutend und die Ueberfahrt bei günstigem Winde binnen wenigen Tagen zu bewerkstelligen sei, ein Gedanke, welcher erst nach anderthalb Jahrtausende langem Schlummer in der Seele des kühnen genuesischen Seefahrers, des Entdeckers der neuen Welt, seine Auferstehung feiern sollte.

Die Summe aller Beweismomente für die Kugelgestalt der Erde, welche bereits beim Beginn der christlichen Zeitrechnung von den Forschern des Alterthums angeführt worden waren, finden wir zusammengestellt in dem großartigen Unternehmen einer Weltbeschreibung des
Plinius, C. Plinius Secundus Major (geb. 23, gest. 79 n. Chr. beim Ausbruche des Vesuv, als Opfer seiner Wißbegierde), welche Humboldt [41]) das größte römische Denkmal nennt, das der Litteratur des Mittelalters vererbt wurde. Wir lassen hier eine Zusammenstellung der auf diesen Gegenstand bezüglichen Stellen aus dem 2. Buche der Historia Naturalis in der Uebersetzung folgen:

LXIV, 1. Ueber die Gestalt der Erde herrscht nur eine einstimmige Meinung. Wir nennen sie ohne Bedenken Erdkreis (orbis terrarum), und glauben, daß diese Kugel (globus) von den beiden Polen eingeschlossen werden. Sie kann aber eigentlich der vielen Berghöhen und der weiten Feldflächen wegen nicht vollkommen rund sein....

LXV, 1. Wir kommen nun an einen großen Streit zwischen den Gelehrten und dem gemeinen Volk. Jene behaupten nämlich, die Erde sei rund und von Menschen bewohnt und diese kehren einander die Füße zu... Dieses frägt dagegen, warum die uns gegenüber Liegenden nicht herabfallen.... Eine andere Meinung hat sich zwischen Beide gestellt, die aber nur dem ungebildeten Haufen als annehmbar erscheinen kann, daß nämlich die Erde allerdings rundum bewohnt sein könne, wenn sie eine ungleiche Kugel bilde und ungefähr die Gestalt eines Fichtenapfels habe (also ein längl. Sphäroid statt des jetzt nachgewiesenen verkürzten).

3. Am meisten widerstrebt das ungebildete Volk, wenn es glauben soll, daß auch das Wasser eine runde Gestalt habe. Und doch ist in der ganzen Natur nichts leichter durch den bloßen Anblick zu begreifen. Denn die irgendwo herabhängenden Tropfen bilden sich zu kleinen Kugeln und erscheinen, wenn sie auf Staub fallen, oder wenn man sie auf wollhaarige Blätter legt, vollkommen rund. Auch in allen Bechern steigt das Wasser in der Mitte am höchsten...

4. Aus keiner andern Ursache kommt es, daß man das Land, welches schon vom Schiffsmaste aus sichtbar ist, auf dem Schiffe selbst nicht sieht, und daß ein glänzender Gegenstand, welchen man an die Spitze des Mastes bindet, allmählich niedriger zu werden scheint und am Ende ganz verschwindet. [42])

LXXI, 1. Die Ursache der übrigen so wunderbaren Erscheinungen liegt in der Gestalt der Erde, und wir können sogar aus ihnen wieder auf die Kugelform der Erde, mit Inbegriff des Wassers, schließen. Auf diese Weise kommt es ohne Zweifel, daß uns die Sterne des nördlichen Himmels niemals untergehen, die des südlichen dagegen nicht aufgehen. Die Südländer können aber unsre Sterne nicht sehen, weil die Kugelgestalt der Erde in der Mitte das Weitersehen hemmt....

2. Ja, die Wölbung der Erde ist so bedeutend und bemerklich, daß der Stern Kanopus den Beobachtern zu Alexandria fast um den 4. Theil eines Zeichens ($7^1/_2$ °) über dem Horizonte zu stehen, und derselbe, von Rhodus aus gesehen, fast die Erde zu streifen scheint; in Pontus ist er gar nicht mehr sichtbar...

3. Alles dies können die Seeleute auf ihren Fahrten am besten beobachten, indem das Meer auf

der einen Seite in die Höhe steigt und auf der andern sich wieder herabsenkt, wodurch die Sterne, welche hinter der Wölbung des Erdballs verborgen waren, plötzlich sichtbar werden und gleichsam aus dem Meere aufzutauchen scheinen... Was Alles nicht stattfinden könnte, wenn die Erde nicht die Gestalt einer Kugel hätte.

LXXII., 1. Deswegen werden auch die gegen Abend sich ereignenden Sonnen- und Mond-Finsternisse nicht von den Bewohnern des Ostens und die gegen Morgen stattfindenden nicht von den Bewohnern des Westens bemerkt...

2. Wäre die Erde eine ebene Fläche, so müßten alle Menschen solche Erscheinungen zu derselben Zeit sehen.

LXXIII., 1. Deshalb ist es auch nicht auf der ganzen Erde zu gleicher Zeit Nacht oder Tag, sondern die eine Hälfte der Erdkugel, welche von der Sonne abgewendet ist, hat Nacht, die andre, welche ihr zugekehrt ist, Tag.

Unter denjenigen Männern des Alterthums, welche über die Gestalt der Erde nachgedacht und geschrieben haben, können wir den berühmtesten (wenn auch nicht größten) Astronomen und Geographen des Alterthums, den um die Mitte des zweiten Jahrhunderts n. Chr. zu Alexandria lebenden Claudius Ptolemäus nicht unerwähnt lassen, welcher die schon durch Eratosthenes und Strabo auf einen wissenschaftlichen Standpunkt erhobene Geographie zuerst [43]) nach einem strengeren geometrischen Systeme bearbeitete, eine Anweisung zur richtigeren Bestimmung der Größe der Erdkugel (von der weiter unten noch ausführlicher die Rede sein wird) und zur Anfertigung einer Erdkarte nach einer richtigeren, die Kugelgestalt der Erde berücksichtigenden Projection gab, und dessen Γεωγραφικὴ ὑφήγησις bis zum Wiederaufleben der Wissenschaften im 16. Jahrhundert das gewöhnliche und allgemein verbreitete Lehrbuch der Geographie geblieben ist, und als die Hauptquelle der alten Erdkunde galt. Ptolemäus,

Den Schluß der Zusammenstellung dessen, was die Alten über die Gestalt der Erde dachten, möge eine Bemerkung Frahnerts [44]) bilden, welcher behauptet, schon Varro (den er bei dieser Gelegenheit den Plato unter den Römern nennt) habe sogar die Abplattung der Erde (siehe weiter unten) vermuthet, und sich dabei auf das Zeugniß Cassiodors beruft. Varro,

So weit war der Stein des Sisyphus durch die gemeinsame Arbeit vieler Jahrhunderte schon in die Höhe gewälzt, als er bei der gewaltigen durch den Sturz der römischen Weltherrschaft hervorgerufenen Erschütterung wieder bergab rollte und das künstlich gefügte Gebäude der Wissenschaften unter den Trümmern des durch barbarische Horden entzündeten Weltbrandes verschüttet wurde.

So kam es, daß der berühmte Kirchenvater Lactantius (gest. 325, wegen seiner Sprachgewandtheit der christliche Cicero genannt) die Meinung, daß es Menschen geben solle, die mit ihren Fußsohlen gegen uns gekehrt, deren Füße also über ihrem Kopfe wären, und Länder, wo die Bäume und das Getreide nach unten hinunter wachsen, der Regen und Schnee von unten hinauf fallen, als ungereimten und belachenswerthen Irrthum widerlegen konnte [45]), und daß seine Widerlegung großen Beifall fand. [46]) Lactanz,

So trugen auch die theologischen Bedenken des heiligen Chrysostomus dazu bei, dem menschlichen Geiste eine rückgängige Bewegung zu geben, und auch der heilige Augustinus spricht sich [47]) ausdrücklich gegen Antipoden aus. Chrysostomus, Augustinus,

So suchte der Aegypten, Indien und andre Länder des Orients bereisende, 550 [48]) als Mönch gestorbene Alexandrinische Kaufmann Kosmas Indicopleustes in seiner χριστιανικὴ τοπογραφία das Unbiblische im System des Ptolemäus nachzuweisen, und kehrte wieder zur Vorstellung der Erde als einer ebenen Fläche zurück. Nach Heel construirte er sich die Erde ganz nach dem Wortlaute der Bibel (wahrscheinlich nach Jesaias 11, 12 und Hesekiel 7, 2) als Kosmas, ein längliches Viereck, dessen größte Ausdehnung sich von Osten nach Westen erstreckt, umringt vom Ocean, den wieder ein viereckiger Rand umschließt, und durch Gottes Allmacht auf ihrer eigenen Feste ruhend. Heel giebt eine höchst wunderliche Abbildung der Erde nach der Anschauung des Kosmas, wahrscheinlich dieselbe, von welcher Humboldt [49]) sagt, sie setze durch ihre naive und wahrhaft barbarische Einfachheit den Beschauer in Erstaunen und bleibe wahrscheinlich noch weit hinter dem (oben erwähnten) πίναξ des Hekatäus zurück.

Virgilius, Diese Vorstellung von einer flachen Erde nahm im 7. u. 8. Jahrhundert immermehr überhand, und Lippold berichtet, daß, als der Bischof Virgilius von Salzburg im 8. Jahrhundert gelehrt habe, daß es Antipoden gäbe, folglich die Form der Erde eine Kugel wäre, sei ihm das theuer zu stehen gekommen, denn der heilige Bonifacius, der sogenannte Apostel der Deutschen, habe im Jahre 750 Klage gegen ihn beim Papste Zacharias geführt, und dieser habe ihn seines Amts entsetzt und ihn nach Rom zur Verantwortung kommen lassen. Daß Virgil mit Bonifazius wegen seiner Ansicht über die Antipoden in Streit gerieth, und daß Bonifazius seine Annahme so auslegte, als ob Virgil an eine Welt glaube, die nicht von Christus erlöst worden sei, wird auch von Löbe [52]) bestätigt. Indeß erscheint die Aussage Lippolds mehr als zweifelhaft, da Papst Zacharias nur bis 752 regierte und Bonifazius schon 755 ermordet wurde, dagegen Virgil erst 767 Bischof von Salzburg geworden ist. [53])

Während so im Abendlande das Licht der Wissenschaften immer mehr und mehr verdunkelt wurde, war im fernen Morgenlande das leicht bewegliche und mit einem frischeren Sinne der Araber, für Naturanschauung begabte Volk der Araber berufen, die heilige Flamme vor dem Erlöschen zu bewahren und als Vermittler zwischen altgriechischer Bildung und der Wissenschaft der neuern Zeit aufzutreten. Als Schüler der Griechen folgten sie mit ihren Weltanschauungen dem Systeme des Ptolemäus (almagist). Was im Folgenden über ihre Ansicht von der Erde mitgetheilt wird, ist einem Berichte des Prof. Fr. Dieterici über die Schriften der lautern Brüder (einer in einem fest gegliederten Orden gefügten Schule, welche etwa im Jahre 970 es versuchte, in 51 Abhandlungen den ganzen Umfang der Wissenschaften aufzufassen und dem Volke zugänglich zu machen) entlehnt, der sich in der Zeitschrift für allgemeine Erdkunde [54]) abgedruckt findet. Dort wird die Erde als Vollkugel aufgeführt und es heißt: „Es ist ein Irrthum geometrisch ungebildeter Leute, die untere Hälfte der Erde tiefer zu nennen, als die obere, vielmehr ist der Mittelpunkt stets der tiefste aller Punkte. Die Luftsphäre muß man überall als oben bezeichnen, und so jede andre Sphäre; denn überall, wo sich der Mensch auf der Erde befindet, steht stets sein Fuß nach unten, sein Kopf aber nach oben. Er sieht vom Himmel stets nur die eine Hälfte, die andre dagegen verbirgt ihm der Erdbogen. Geht der Mensch von einer Stelle zur andern, so erscheint ihm vom Himmel immer nur ein Stück, das ihm auf der andern Stelle verborgen war... Der Erdmittelpunkt, als der Mittelpunkt des All's, ist der Magnet der Schwere. Und da alle Theile der Erde schwer sind, so lassen sie sich zum Mittelpunkt hinziehen... Aus diesem Grunde wird die Erde mit allen ihren Theilen eine Kugel (da sie sich alle gleichmäßig gruppiren)..."

So weit entspricht ihre Anschauung fast in aller Strenge den Anschauungen der heutigen Wissenschaft. Im Folgenden dagegen ist die Wahrheit wieder mit wunderlichem Irrthum gemischt. Es heißt: „Die Erde ist, wie ein in's Wasser getauchtes Ei, von dem die Hälfte im Wasser liegt, die andere Hälfte aber klar davon ist. Von der vom Wasser entblößten Hälfte ist wiederum die eine Hälfte wüst, nämlich die südlich vom Aequator liegende. Die andre Hälfte, das bewohnte Viertel, liegt nördlich vom Aequator."

Der erwähnten Abhandlung von Dieterici, der wir diesen kurzen Auszug entlehnten, ist zugleich eine von Kiepert nach den dort gemachten Angaben entworfene Karte beigegeben.

Die Araber waren es, welche durch ihre astronomischen Schulen in Cordova, Sevilla und Granada ihr geistiges Licht in reichen Strömen über das ganze übrige in finstrer Barbarei liegende Europa ausgossen. In Cordova studirte u. A. der durch seine Geographia Nubiensis, so wie durch seinen für den König Roger von Sicilien verfertigten silbernen 800 Mark schweren Erdglobus bekannte Araberfürst Scherif al Edrisi (1099—1175 [od. 86?]), dessen Einfluß auf dem Gebiete der Geographie Jahrhunderte hindurch von überaus großer Bedeutung gewesen ist, und der in dem erwähnten Werke ausdrücklich sagt, das Meer von Sin (China) stehe in Verbindung mit dem finstern Meere (dem atlantischen Ocean), und sogar den Umfang der Erde nach einer Berechnung der Inder angiebt. [55])

Einzelne Spuren der durch die Araber über Europa verbreiteten richtigeren Erkenntniß sind uns aus jener Zeit noch aufbewahrt. So erzählt Heel [56]) von einem französischen Gedichte „Bild der Welt“ aus dem 13. Jahrhundert, welches einen metrischen Bericht von der Erde und dem Himmel ganz nach den Ansichten des Ptolemäus enthält. In einer Handschrift davon, die in der Universitätsbibliothek zu Cambridge aufbewahrt wird, soll übereinstimmend mit dem Texte eine kugelförmige Erde abgebildet sein, auf der an allen Orten Menschen aufrechtstehend dargestellt sind. Um die Neigung aller Körper gegen den Mittelpunkt der Erde zu bezeichnen, wird diese Erde in der Richtung mehrerer ihrer Durchmesser durchbohrt dargestellt, wo die Menschen Kugeln in diese Oeffnungen fallen lassen, die sich alle im Mittelpunkte der Erde begegnen.

In Deutschland machte sich der unter dem Namen Albertus Magnus bekannte Graf Albrecht von Bollstädt durch seine Schrift Liber cosmographicus de natura locorum verdient, in welcher er es für einen abgeschmackten Volkswahn (vulgaris imperitia) erklärt, daß diejenigen, deren Füße uns zugekehrt seien, nothwendig fallen müssen. Die andre Hälfte, in welcher unsre Gegenfüßler leben, sei nicht durchgängig mit Wasser bedeckt; der größte Theil derselben sei bewohnt. des Albertus Magnus,

Dieselben Wahrnehmungen über die Möglichkeit, unmittelbar auf dem Westwege nach Indien zu gelangen, über die bewohnbaren Theile der Erdoberfläche u. s. w. finden sich bei dem Begründer der Erfahrungswissenschaft, dem Franziskanermönche Roger Baco in Oxford, dem seine Zeitgenossen wegen der Vielseitigkeit seiner Kenntnisse den Namen eines Doctor mirabilis beilegten, und der auf demselben Wege, den die Araber zur Vervollkommnung ihrer Instrumente und Beobachtungsmethoden eingeschlagen hatten, nach einer vollständigen Umwandlung des gesammten Studiums der Naturwissenschaften strebte. [57]) R. Baco,

Die Araber waren es auch, die durch ihr mathematisches und astronomisches Wissen auf das Seewesen in Spanien und Portugal einen nicht unerheblichen Einfluß ausübten und somit die Entdeckung Amerika's, so wie die erste Weltumsegelung und die dadurch erweiterte Kenntniß unsers Erdballs gewissermaßen vorbereiteten. Gleichwohl ist es durchaus nicht zu verwundern, daß Columbus 22 Jahre lang mit unsäglichen Schwierigkeiten und gegen allerhand Einwände zu kämpfen hatte, um für seinen kühnen Plan Unterstützung zu finden. Hatte doch kurz zuvor noch Tostatus, Bischof von Avila, gestorben 1455, die Meinung von der Rundung der Erde als sehr bedenklich und für den Glauben gefährlich verdammt. Daher ist es auch nicht zu verwundern, daß die gelehrte Junta Johanns des zweiten von Portugal, bestehend aus den Kosmographen Rodrigo und Joseph und dem Beichtvater des Königs, Diego Ortiz de Cazadilla, welcher der Vorschlag des Columbus zur Prüfung vorgelegt wurde, denselben als ungereimt und chimärisch verwarf, daß der Geheimrath des Königs ein gleiches Urtheil fällte, daß Columbus.

des Columbus Vaterstadt Genua seine Anträge abschläglich beantwortete, daß der Beichtvater der Königin Isabella von Spanien, Fray Hernando de Talavera, an den C. empfohlen war, seinen Entdeckungsplan für lächerlich und unausführbar erklärte, daß der König Ferdinand von Spanien, selbst als er für den Plan gewonnen war, kalt und vorsichtig blieb, daß die von ihm nach Salamanca berufene, aus Astronomen, Geographen und Mathematikern, angesehenen Prälaten und gelehrten Mönchen bestehende Junta ihn aus der Bibel und den Kirchenvätern zu widerlegen suchte und schließlich ohne eine günstige Entscheidung abgebrochen wurde, ja, nach einem Jahre zum zweiten Male zusammenberufen, den vorgelegten Plan einstimmig für ungereimt und unausführbar erklärte; [58]) zu verwundern ist nur, daß ein Gemisch von Zeugnissen des Aristoteles und Averroes, des Esra und Seneca über die große Ausdehnung der Meere im Vergleich mit der Continentalmasse dem Monarchen die Ueberzeugung von der Sicherheit eines immerhin sehr kostspieligen Unternehmens geben konnte. [59]) Der glückliche Erfolg des kühnen Wagnisses bewies jedoch schlagender, als alle diese Zeugnisse, daß der König sein Vertrauen keinem unbesonnenen Abenteurer geschenkt habe.

Weltumsegelung.

Nun fehlte zur vollen Demonstration des Beweises der Kugelgestalt der Erde nur noch eine vollständige Weltumsegelung, und auch an diese dachte Columbus schon im Jahre 1494, wie sein Sohn Fernando und sein Freund Cusa de los Palatios erzählt. [60]) Dies sollte jedoch erst 27 Jahre später der berühmt gewordenen Expedition des portugiesischen Seehelden Magelhaens (vom 10. August 1519 bis 7. Sept. 1522) gelingen, und auch dieser nur mit unsäglichen Mühen. Erschreckt von diesen Mühen revoltirte die Mannschaft des Magelhaens, und er sah sich genöthigt, die Meuterer zu erdolchen, aufzuknüpfen. Zur Meuterei gesellte sich Schiffbruch. Von den 5 Fahrzeugen, mit denen Karl V. die Expedition ausgerüstet hatte, gingen 4 verloren. Als man die furchtbare amerikanische Südspitze, das erschreckliche Feuerland, das grausige Cap Forward, vor sich hatte, wollte Niemand mehr weiter. Nur Magelhaens selbst drängte unaufhaltsam vorwärts, suchte, spähte, drängte sich zwischen hundert Inseln durch und trat endlich (am 27. Nov. 1520) in ein grenzenloses, an diesem Tage ruhiges Meer, welches von da an der stille Ocean genannt wird. So viele Gefahren hatte der kühne Seefahrer bereits überstanden, als ihn im Jahre 1521 auf der Insel Zebu, [61]) einer der Philippinen, der Tod ereilte. Nun setzte sein unerschrockener Steuermann, der eiserne Baske Sebastian de Elcano, auf dem einzigen noch übrig gebliebenen Schiffe, der Nao Victoria, die Reise fort, lief am 7. September*)

*) Die Schiffsrechnung hatte den 6. Sept., da bei der Reise nach Westen die Sonne jeden Tag etwas später auf und unter ging und auf diese Weise nach und nach ein ganzer Tag verloren ging. Um diesen Uebelstand zu vermeiden, pflegen jetzt die Seefahrer im großen Ocean bei Ueberschreitung des 180. Meridians jedesmal einen Tag zu überschlagen oder zurückzurechnen, je nachdem diese Ueberschreitung von Osten nach Westen oder von Westen nach Osten erfolgt. Da deutsche Seefahrer ihren Meridian von Ferro aus, französische den ihrigen von Paris aus rechnen, so kann es kommen, daß, wenn ein deutsches und ein französisches Schiff sich etwa in der Nähe von Neu-Seeland treffen, welches noch auf derselben Halbkugel mit Paris, aber nicht mehr auf derselben Halbkugel mit Ferro liegt, das französische Schiff ein um einen Tag späteres Datum aufweist, als das deutsche. Wer grade an seinem Geburtstage von Osten nach Westen über den 180. Meridian segelt, kann denselben zweimal feiern, während er ihn, in entgegengesetzter Richtung fahrend, ganz einbüßen kann. Hierdurch erledigt sich auch eine vor mehreren Jahren hierorts aufgeworfene Frage: an welchem Orte der Erde das sogenannte Neujahrsblasen beginnen müsse, wenn angenommen werde, daß es aller Orten mit dem Glockenschlage 12 in der Sylvesternacht üblich sei. Aus demselben Grunde dauerten die Extrafahrten des vorigen Sommers von Berlin zur Pariser Weltausstellung scheinbar nur 29½ Std., dagegen die Rückfahrten von Paris bis Berlin scheinbar 31½ Std., während in Wirklichkeit die Zeit der Hin- und Rückfahrt gleich lang war und 30½ Std. betrug.

1522 in den Hafen von San Lucar ein und erhielt zum Wappen einen Erdglobus mit der ruhmvollen Inschrift „Primus circumdedisti me.“ [62])

Nunmehr war die Kugelgestalt der Erde in der handgreiflichsten Weise demonstrirt und keine Scholastik wagte nun noch weiter an derselben zu zweifeln. Welche Modification der Kugelgestalt spätere genauere Untersuchungen ergeben haben, werden wir im Folgenden sehen.

II. Messung der Erde.

Um die Größe der Erde nach Oberfläche und Cubikinhalt zu erhalten, kann man dieselbe für die erste rohe Bestimmung als vollkommene Kugel betrachten. Dann ist zur Bestimmung ihrer Oberfläche, $4r^2\pi$, und ihres Inhalts, $\frac{4}{3}r^3\pi$, weiter nichts, als die Kenntniß des Radius, r, erforderlich; den Radius aber erhält man aus der Länge eines größten Kreises, z. B. eines Meridians, nach der Formel $P = 2r\pi$, oder $r = \frac{P}{2\pi}$. Nun ist zwar die Messung eines ganzen Meridians mit der Meßkette wegen der vielen Naturhindernisse, wie Berge, Gewässer, Sümpfe, gradezu unmöglich, aber glücklicherweise auch nicht unbedingt erforderlich; es genügt vielmehr schon die Messung eines Theils desselben. Es ist nämlich $b : P = w : 360$, wo b einen Bogen des Meridians, nach irgend einem bekannten Längenmaaße gemessen, w denselben Bogen, nach Graden gemessen, bedeutet, also $P = \frac{360}{w}\,b$. Um also die Größe der Erde zu bestimmen, hat man nur nöthig, einen Meridianbogen.

1) nach Graden,
2) nach absoluter Länge

auszumessen.

1) Messung eines Meridianbogens nach Graden.

Die Messung eines Meridianbogens nach Graden kann nach verschiedenen Methoden erfolgen:

a) Durch Messung von Depressionswinkeln.

Es seien A u. B zwei möglichst weit von einander entfernte über der Erdoberfläche erhabene Punkte, welche so gelegen sind, daß man den einen vom andern aus sehen kann, und $AC \perp AM$, $BC \perp BM$; so nennt man α den Depressionswinkel von B in Bezug auf A, und β den Depressionswinkel von A in Bezug auf B. Diese Winkel können mittelst des Theodoliten*) gemessen werden, und ihre Summe ist, da $\alpha + \alpha_1 + \beta + \beta_1 = 2R = w + \alpha_1 + \beta_1$ ist, gleich dem Winkel w, den die beiden nach A u. B gezogenen Erdradien am Mittelpunkte der Erde mit einander bilden. Es ist einleuchtend, daß diese rein terrestrische Messung nicht grade im Meridian vorgenommen zu werden braucht, was bei den folgenden Methoden, welche astronomischer Natur sind, unbedingt erforderlich ist. Fig. 1.

Beispiel: Angenommen, die Dachzinne der Ruine des Gröditzberges erscheine vom Dache der künstlichen Burg der Landeskrone aus gesehen unter dem Depressionswinkel $\alpha = 18' 7''$, dieses, von jener aus gesehen, unter dem Depressionswinkel $\beta = 13' 23''$, und die gemessene Entfernung des Gröditzberges von der Landskrone betrage $e = 186190$ preußische Fuß: wie läßt sich daraus die Länge des Erdradius in geographischen Meilen ausdrücken, wenn man die Meile zu $m = 23643{,}21$ preußischen Fuß berechnet und die Erde vorläufig als vollkommene Kugel annimmt? Antwort: 859,4353 geogr. Meilen.

*) Der Theodolit ist das wichtigste geodätische Instrument, der Hauptsache nach aus zwei concentrischen Horizontalkreisen bestehend, deren innerer zwei verticale Säulen trägt, auf denen ein Fernrohr mit einer horizontalen Axe ruht, das sich also sowohl vertical um seine Axe, parallel der Ebene eines vertical angebrachten Kreises, als auch horizontal mittelst der erwähnten Horizontalkreise drehen kann. Die Größe jeder Drehung wird auf den mit Nonien versehenen Kreistheilungen durch eine Loupe abgelesen.

b) Durch gleichzeitige Messung der Schattenlängen in zwei unter demselben Meridiane liegenden Orten.

Fig. 2. Angenommen, der Kreis um M sei ein Erdmeridian, A und α seien zwei auf demselben gelegene Orte der Erde, die kleineren Halbkreise mit den Mittelpunkten S und σ seien die Durchschnitte zweier in A und α aufgestellten halbkugelförmigen Becken (Skaphen [63]), AS und $\alpha\sigma$ zwei in ihren Mitten senkrecht errichtete Stäbe, SB u. $\sigma\beta$ zwei zu gleicher Zeit die Spitzen dieser Stäbe treffende Sonnenstrahlen, die der großen Entfernung der Sonne wegen als parallel angenommen sind, also AB und $\alpha\beta$ die gleichzeitigen Schattenlängen der Stäbe AS und $\alpha\sigma$ während des Durchganges der Sonne durch den Meridian; so werden die Winkel ASB und $\alpha\sigma\beta$ unmittelbar durch diese Schattenlängen gemessen. Verlängert man nun aber SB bis zum Durchschnitt C mit Mσ, so ist $\alpha\sigma\beta = SC\sigma = ASB + AM\alpha$, also $\alpha\sigma\beta - ASB = AM\alpha$. Dieser Winkel aber mißt unmittelbar den Meridianbogen Aα.

Beispiel: Wenn bei der von Eratosthenes (siehe oben Seite 5) angestellten Erdmessung die Entfernung Alexandrias von Syene, einer nahezu unter dem Wendekreise des Krebses belegenen oberägyptischen Stadt, $e = 4977{,}7$ [64]) Stadien betrug, und wenn der Zeiger der um die Zeit des Sommersolstitiums, während die Sonne grade in der Mittagshöhe stand, in Syene aufgestellten Skaphe gar keinen Schatten warf, die Schattenlänge des Zeigers der zu gleicher Zeit in Alexandria aufgestellten Skaphe aber $w = 7^0\ 6'\ 40''$ betrug: wie läßt sich hieraus die Länge des Erdradius in geographischen Meilen ausdrücken, wenn man mit Eratosthenes annimmt (was jedoch nicht ganz richtig ist), daß Alexandria und Syene unter demselben Meridiane liegen, und wenn das Stadion $s = 600$ griechische Fuß, der griechische Fuß $g = 141{,}4$ [65]) preußische Linien ist, $m = 23643{,}21$ preuß. Fuß aber eine geographische Meile ausmachen? Antwort: 999,4142 geogr. Meilen.

c) Durch Messung des Abstandes zweier Sterne, von denen jeder an einem zweier gegebenen Beobachtungsorte grade durch das Zenith geht.

Fig. 3. Der Kreis $\alpha\beta\gamma$ sei ein Himmelsmeridian und der Kreis ABC der zugehörige Erdmeridian, A und B seien zwei Orte auf demselben, an denen die Sterne α u. β grade durch das Zenith gehen. Kennt man nun das Bogenstück $\alpha\beta$ nach Graden und das Bogenstück AB nach seiner absoluten Länge, so ergiebt sich der Erdumfang aus der Proportion: $\alpha\beta : 360 = AB : x$. Auf solche Schlüsse stützt sich die Angabe des Umfangs der Erde durch Archimed. Nach Cleomed. cycl. theor. 1, 8 schlossen nämlich die Mathematiker, welche dieses Maaß fanden, wie folgt: im Zenith der Stadt Lysimachia (an der kleinasiatischen Küste gegenüber von der Insel Lesbos) steht der Drache, im Zenith von Syene der Krebs. Der Raum zwischen diesen beiden Sternen [66]) ist, mit dem Gnomon gemessen, der 15. Theil des Meridians der genannten Städte [67]), beide aber sind 20000 Stadien von einander entfernt; also beträgt der Erdumfang 15 × 20000 oder 300000 Stadien. [68])

Frage: Wie viel geographische Meilen würde demnach der Erdradius betragen? Antwort: 1189,798 geographische Meilen.

d) Durch Messung der Mittagshöhe eines und desselben Sternes an verschiedenen auf demselben Meridiane liegenden Orten der Erde.

Fig. 4. Angenommen, der Kreis um M sei wieder ein Erdmeridian und A und B seien zwei auf demselben gelegene Orte, AS und BS_1 die (wegen der großen Entfernung der Fixsterne parallel gedachten) Richtungslinien nach einem und demselben grade culminirenden Fixsterne und AT und BT_1 die in A und B an den Meridian gelegten Tangenten, also α u. β die Mittagshöhen des Sternes für die Orte A und B; so enthält, wenn man den Durchschnitt von AT und BT_1 mit C bezeichnet, das Viereck ACBM bei A u. B zwei rechte Winkel, also ist $w + \gamma = 2R$.

Ebenso ist $w_1 + \gamma = 2\,R$, folglich $w = w_1$. Da nun $\beta = \beta_1$ als Wechselwinkel bei Parallelen und $\alpha = w_1 + \beta_1$ ist, als Außenwinkel, so erhält man $\alpha = w + \beta$ und $w = \alpha - \beta$.

Beispiel: Wenn dem jüngeren Posidonius der Stern Kanopus am Steuer des Sternbildes Argo zu Rhodus eben erst am Horizonte sichtbar wurde, während er in dem $e = 3750$ Stadien südlicher gelegenen Alexandria in der Mittagshöhe um den 48. Theil des Meridians über dem Horizonte stand: [69]) wie läßt sich hieraus die Länge des Erdradius in geogr. Meilen berechnen? Antwort: 713,8785 geogr. Meilen.

e) Durch Messung der Zenithdistanz eines und desselben Sterns an verschiedenen auf demselben Meridiane liegenden Orten der Erde während der Zeit seines Durchganges durch diesen Meridian.

Angenommen, M, A, B, S, S_1 hätten dieselbe Bedeutung, wie vorher, so sind α u. β die Zenithdistanzen eines und desselben Sternes für die Orte A u. B und es ist $\alpha - \beta = w$. Fig. 5.

Beispiel: Wenn die Länge des von Delambre und Mechain (s. unten) von Dünkirchen bis Barcelona gemessenen Meridianbogens 551585 Toisen und die Zenithdistanz des Nordpols in Barcelona 48° 38′ 12,5″, in Dünkirchen 38° 57′ 47,5″ beträgt: wie läßt sich hieraus der Erdradius in geogr. Meilen berechnen, wenn eine Toise zu $t = 1,9490364$ Metern, ein Meter zu $m = 458,817$ preußischen Linien ddc. angenommen wird, und eine geographische Meile $M = 23643,21$ preuß. Fuß beträgt? Antwort: 858,0978 g. M.

2) Messung eines Meridianbogens nach absoluter Länge.

Um einen Meridianbogen nach absoluter Länge zu messen, bedient man sich, da eine so große Linie sich wegen der Unebenheiten des Erdbodens, zwischenliegenden Ortschaften, Gewässern und dergleichen Hindernissen nicht unmittelbar messen läßt, eines Verfahrens, welches überhaupt zur Vermessung größerer Länderstrecken in Anwendung gebracht wird und unter dem Namen der Triangulation bekannt ist. Triangulation. Man wählt nämlich in der Nähe der zu messenden Linie eine Reihe hervorragender Punkte aus, wie hohe Türme, besonders solche, die mit durchsichtigen Plateformen oder Gallerien versehen sind, auf denen man einen Theodoliten aufstellen kann, oder Bergspitzen, auf denen Bäume, Kreuze oder besondre zu diesem Zwecke aufgerichtete Stangen oder in der Nacht angezündete Feuer *) als Signale dienen. Diese Punkte werden so gewählt, daß sie theils unter sich gut gestellte Dreiecke bilden, d. h. solche, welche keine sehr spitzen Winkel enthalten, theils eine bequeme Lage zur Standlinie haben, d. h. so liegen, daß man möglichst viele Dreieckspunkte von der Standlinie aus übersehen kann. Nun mißt man die Winkel, welche die Visirlinien von jedem dieser Punkte nach den benachbarten Punkten mit einander bilden, mit dem Theodoliten. (Was bei der Summe der Winkel eines Dreiecks etwa noch zu 2R fehlt oder darüber ist, wird den einzelnen Winkeln je nach ihrer Größe repartitionsweise hinzugefügt oder abgezogen). Auf diese Weise erhält man ein ganzes Netz von Dreiecken, deren Ebenen der ungleichen Höhen der Beobachtungspunkte wegen auf eine gemeinschaftliche Horizontalebene reducirt werden müssen, und dann, da sämmtliche Winkel dieser Dreiecke bekannt sind, als gradlinige Dreiecke mit allen ihren Seiten berechnet werden können, nachdem man nur eine einzige dieser Seiten, die Basis oder Standlinie, ihrer absoluten Länge nach mit möglichster Genauigkeit gemessen hat. Basis.

Dieses Messen geschieht gewöhnlich mit schmiedeeisernen Maaßstäben, Meßstangen genannt, Meßstangen. welche vor dem Gebrauch mittelst des Comparateurs mit einem guten Normalmaaße sorgfältig verglichen werden. Um die Ausdehnung dieser Stangen durch die Wärme in Rechnung ziehen zu können, ist auf jeder derselben ein Thermometer angebracht. Jede Meßstange ist in einen starken hölzernen Kasten so eingeschlossen, daß nur ihre zugeschärften Enden, so wie in der Rich-

*) Bei der weiter unten zu erwähnenden peruanischen Gradmessung diente z. B. der feuerspeiende Sangay als perpetuirliches Feuersignal.

tung der Mittellinie der Meßstange zwei feine Stifte aus demselben hervorragen. Die Letzteren dienen zum Visiren. Da es nämlich hauptsächlich darauf ankommt, daß die Meßstangen mit den beiden Endpunkten der Station in einer und derselben verticalen Ebene liegen, weil sich sonst die Entfernung zu groß herausstellen würde; so werden dieselben einvisirt, d. h. man hängt an einem Ende der Station, genau über dem Stationspunkte, an einem dünnen Faden ein Loth auf und visirt nach dem im andern Ende der Station vertical eingestellten Stabe (wobei man sich bei großen Stationen eines Fernrohrs bedient), bis der Faden diesen Stab der Länge nach halbirt, und läßt nun die Meßstange so legen, daß sie ebenfalls vom Faden der Länge nach halbirt wird.

Da ferner nicht die directe Entfernung der Endpunkte der Station, sondern die horizontale Entfernung der durch beide Endpunkte der Station gehenden Verticalen gemessen werden soll; so müssen die Meßstangen auf dreifüßige Böckchen, die mittelst Schrauben niedriger oder höher gestellt werden können, möglichst genau horizontal gelegt werden, was mittelst einer Libelle (Setzwaage) erreicht wird. Die Libelle ist entweder eine Dosenlibelle oder eine Cylinderlibelle. Letztere ist die zweckmäßigste und besteht aus einer Messingröhre, die an der einen Seite in einem Charniere sich auf und ab bewegen läßt, welche Bewegung, da sie sehr fein geschehen muß, am andern Ende der Röhre mittelst einer durch die an die Messingröhre angelöthete Platte hindurchgehende Schraube bewerkstelligt wird. In der Messingröhre befindet sich eine Glasröhre, die oben, wo die Messinghülse durchbrochen ist, offen liegt, damit man die in der mit Weingeist gefüllten Glasröhre befindliche Luftblase beobachten kann. Damit nun aber diese Luftblase bei horizontaler Lage besser in der Mitte bleibe und bei geringer Neigung sich nur langsam von derselben entferne, ist es nöthig, daß die Glasröhre nicht einen graden Cylinder abgebe, sondern daß ihre Achse den Bogen eines desto größeren Kreises darstelle, je empfindlicher die Libelle sein soll. Mitten über der Oeffnung ist eine Skala angebracht, deren Theilstriche von der Mitte aus nach beiden Seiten hin numerirt sind. Durch diese Skala wird es möglich, genau zu beurtheilen, wie weit die Blase von der Mitte absteht.

Libelle.

Das eigentliche Messen wird nun in der Art bewerkstelligt, daß man die erste Meßstange genau bis zum Visirlothe des Anfangspunktes der Station heranrückt, hierauf möglichst sanft, um jede Verrückung zu vermeiden, die zweite so an die erste heranschiebt, daß die graden Linien, in welche die keilförmig gestalteten Enden der Meßstangen auslaufen, auf einander senkrecht stehen; eben so die dritte an die zweite u. s. w. Ist man genöthigt, eine Meßstange niedriger (oder höher) zu legen, als die vorhergehende, so bedient man sich eines an einem Faden aufgehängten Lothes, welches man vom Ende der vorhergehenden Meßstange herab- (oder bis zu demselben herunter-) hängen läßt, und an welches man die folgende genau anrückt.

Hat man auf diese Weise sämmtliche Meßstangen hintereinander aufgelegt, so nimmt man jedesmal die erste vorn weg und legt sie hinter die letzte. Ist man so bis zum Ende der Station gelangt, so ersetzt man entweder den hier eingesetzten Stab gleichfalls durch ein Loth und mißt die übrig bleibende Entfernung mittelst einer besonderen Meßstange, die dann mit einem Nonius versehen sein muß, oder man mißt bis zum eingesteckten Stabe, dessen halbe Dicke alsdann zu addiren ist. Es versteht sich übrigens von selbst, daß man zur größeren Sicherheit jede Standlinie das eine Mal vorwärts, das andre Mal rückwärts mißt und aus den beiden gefundenen Resultaten (die jedoch nicht zu sehr von einander abweichen dürfen) das arithmetische Mittel nimmt.

Um den Grad der Genauigkeit der Vermessung und Berechnung des ganzen Dreiecksnetzes beurtheilen zu können, pflegt man in einem von der gemessenen Basis möglichst entfernten

Theile dieses Netzes noch eine zweite grade Linie direct zu messen, welche Verificationsbasis genannt wird, und dann die direct gemessene Länge derselben mit der durch Berechnung gefundenen zu vergleichen.[70] (Controlle der Basismessung.)

Als Beispiel einer Triangulation diene das durch Fig. 6 dargestellte von Maupertius im Jahre 1736 in Lappland gemessene Dreiecksnetz, in welchem der nördlichste Punkt, K, die Spitze des Berges Kittis, der südlichste, T, den Kirchthurm von Tornea, einer Küstenstadt am Ende des bottnischen Meerbusens, bedeutet. Die Basis, Bb, dieses Dreiecksnetzes wurde auf dem Eise des Torneaflusses gemessen und 7407 Toisen lang gefunden. Außer dieser Basis wurden in dem an dieselbe sich anschließenden Dreiecksnetze sämmtliche Winkel gemessen und dann aus den gemessenen Daten sämmtliche Seiten des Dreiecksnetzes berechnet. Nun liegen aber die Endpunkte des Netzes, K und T nicht auf demselben Meridiane. Daher wurde in K auch das Azimuth der Visirlinie KP (Kittis-Pullingi), d. h. der Winkel gemessen, den diese Visirlinie mit dem astronomischen Meridiane der Spitze des Kittis bildet, und dadurch die Lage, KM, dieses Meridians bestimmt, also auch die Winkel, welche die verschiedenen Seiten des Dreiecksnetzes mit dem Meridiane bilden. Mit Hilfe der Letzteren lassen sich nun aus den Seiten des Dreiecksnetzes deren Projectionen auf den Meridian berechnen. Fällt man nämlich von N, O, T, die Senkrechten NN′, OO′, TT′ auf den Meridian und von N und T die Senkrechten NO″ und TO‴ auf OO″, so ist KN′ = KN cos NKN′, N′O′ = NO″ = NO cos ONO″ und O′T′ = O‴T = OT cos OTO‴. Die Summe dieser Projectionen aber giebt den Abstand KT′ der Parallelkreise von Tornea und Kittis. Derselbe Abstand ergiebt sich auch als Summe der Projectionen von KP, PA, AC und CT oder als Summe der Projectionen von KP, PH, HC, CO und OT.*) Die Resultate dieser Combinationen werden im Allgemeinen sehr nahe mit einander übereinstimmen. Als wirkliche Länge betrachtet man das arithmetische Mittel aus den zuverlässigsten dieser Combinationen.[71]

Fig. 6.

III. Geschichte der Erdmessung.

Von einer eigentlichen Messung des Umfangs der Erdkugel konnte selbstverständlich erst von der Mitte des zweiten Jahrhunderts vor Christo an die Rede sein, nachdem die Ansicht von der Kugelgestalt derselben allgemein geworden war. Bei allen früheren Angaben über die Größe der Erde ist immer nur die Größe des als bewohnt gedachten Festlandes zu verstehen. Bode[72]) berichtet, daß nach den ältesten Berichten Anaximander zuerst den Umfang von Land und Meer angegeben habe. Dies stimmt auch ganz mit der oben gemachten Angabe überein, nach welcher wir Anaximander, als ersten Landkartenzeichner kennen gelernt haben. Doch ist etwas Sicheres darüber nicht zu ermitteln. (Messung des Anaximander,)

Nach Forbiger[73]) ist Herodot der Erste, aus dessen Werken man ungefähr auf die Größe schließen kann, die er der Erdscheibe gab, indem wir, wenn wir die verschiedenen Längenangaben zusammenrechnen, für die Länge der bewohnten Erde etwa 37—40000 Stadien erhalten. (Herodot,)

Horaz nennt[74]) den Pythagoräer Archytas aus Tarent, einen Zeitgenossen des Plato, „terrae mensorem“; doch ist uns von seinen Messungen eben so wenig bekannt, wie von denen des Opuntiers Philippos, eines Schülers von Plato, dem ebenfalls eine Erdmessung zugeschrieben wurde.[75]) (Archytas, Philippos,)

*) Frage: Wie viele solcher Combinationen lassen sich überhaupt aufstellen?

chaldäische Gradmessung,

Humboldt hält [76]) eine uralte chaldäische Bestimmung der Größe des Grades nach Kameelschritten nicht für unwahrscheinlich.

indische,

Nach einer Bemerkung des „Auslandes“ [77]) geben alte indische Werke den Durchmesser der Erde zu 1600 Yodschana's oder, da 1 [78]) Yodschana = 4 Krosa's, 1 Krosa = 4000 Yards und 1 Yard [79]) = 2,9134 pr. Fuß beträgt, deren 23643,21 eine geogr. Meile ausmachen, 3154,522 geogr. Meilen, also den Umfang zu 9910,225 g. M., mithin fast doppelt so groß an, als er in Wirklichkeit ist.

Auch La Place [80]) erklärt es für wahrscheinlich, daß die ersten Versuche, die Erde zu messen, bis in die vorhistorischen Zeiten zurückreichen, und zwar wegen der Beziehungen mehrerer uralter Maaße sowohl untereinander, als auch zur Länge des Erdumfanges, welche ihn zu der Vermuthung führen, daß diese Länge schon in sehr alten Zeiten nicht nur sehr genau bekannt gewesen sei, sondern auch als Grundlage eines vollständigen Maaßsystems gedient habe, dessen Spuren man in Aegypten und Asien wiederfinde. An einer andern Stelle [81]) betont er diese Wahrscheinlichkeit von Neuem, giebt aber zu, daß von allen diesen Messungen nur einige ungefähre Schätzungen des Erdumfanges übrig geblieben sind.

M. d. Aristoteles, Archimed,

So gab Aristoteles [82]) den Umfang der Erde zu 400000 Stadien [83]) oder 9967,625 geogr. Meilen an, was von der oben erwähnten indischen Angabe nur wenig abweicht, Archimed aber [84]) zu 300,000 Stadien oder 7475,719 g. M.

Eratosthenes,

Der Ruhm der ersten wirklichen Gradmessung gebührt dem Eratosthenes, dessen Verfahren bereits oben als Beispiel zu II., 1, b beschrieben worden ist. Nach ihm beträgt der Erdumfang 252,000 Stadien oder 6294,080 g. M. [85])

Posidonius,

Die folgende Erdmessung verdanken wir dem jüngern Posidonius (geb. 135, gest. 51 v. Chr.) aus Apamea in Syrien, einem Freunde des Cicero und Pompejus, dessen Verfahren als Beispiel zu II., 1, d beschrieben worden ist. Erst nahm er dabei die Entfernung zwischen Rhodus nnd Alexandria zu 5000 Stadien an und erhielt dadurch 240,000 Stadien für den Umfang der Erde. Später fühlte er sich veranlaßt, den Abstand zwischen Rhodus und Alexandria auf 3750 Stadien herabzusetzen, wodurch er für den Umfang der Erde blos 180000 Stadien oder 4495,7715 geog. Meilen erhielt. [86]) Diese großen Schwankungen sowohl, als auch schon die überall gar zu runden Zahlen zeigen, wie wenig sicher die Resultate aller dieser Messungen noch waren. Die zuletzt angeführte Angabe des Posidonius blieb lange Zeit maaßgebend für die Astromen und Geographen, und auch Ptolemäus folgte lediglich dieser Angabe, obwohl Theon (ad Almag.) dem Ptolemäus eine neue Messung zuschreiben möchte.

Ptolemäus,

Seit dieser Zeit finden wir keine Nachricht von einer Erdmessung bis zu den Zeiten der Araber. Unter diesen berichtet [87]) der große Astronom Ebn-Junis, der Ptolemäus der Araber, wie ihn Mädler [88]) nennt, berühmt durch seine astronomischen Tafeln, zu Ehren des fatimitischen Chalifen Aziz Ben Hakem Biamrilla die Hakemitischen genannt, [89]) der auch zuerst das Pendel als Zeitmesser kannte und anwendete, [90]) von einer Gradmessung, die der 814—833 über die Araber herrschende [91]) Chalif Al Mamum, der zweite Sohn des großen Harun al Raschid und der 7. Chalif aus der Dynastie der Abassiden, im Jahre 827 in den weiten Ebenen der Wüste von Sindschar durch Beobachter unter Leitung von Chalid ben Abdulmelik und Ali ben Isa ausführen ließ, die erste, bei welcher von der Meßkette Gebrauch gemacht wurde. Ch. b. A. maß einen Grad des Meridians nach Norden, A. b. J. von demselben Punkte aus nach Süden. Auf ersterer Strecke ergaben sich 56, auf letzterer $56\frac{2}{3}$ arabische Meilen für den Grad. Der Chalif, von diesem Ergebniß nicht befriedigt, ordnete eine Wiederholung an, allein das Resultat blieb,

der Araber, des Al Mamum,

wie früher. Mädler[94]) bemerkt, daß eine Fehlersumme von 42″ in den gebrauchten Sternpositionen die Differenz erkläre, und macht darauf aufmerksam, daß die Araber mit bloßen Augen beobachteten.

Auf diese Messung stützt sich vermuthlich auch die oben schon erwähnte Abhandlung der lautern Brüder, in welcher der größte Kreis um die Erde zu 20400 arabischen Meilen angegeben ist. Interessant ist auch die unmittelbar darauf folgende Angabe des Durchmessers zu 6501 arab. M., aus der hervorgeht, daß die Araber jener Zeit die Ludolfsche Zahl etwa zu 3,138 berechneten.

Erst nach weiteren 7 Jahrhunderten versuchte im Jahre 1525[95]) der berühmteste französische Arzt des 16. Jahrhunderts, einer der Wiederhersteller der Hippokratischen Medicin, später Leibarzt des Königs Heinrich II., Jean Fernel, auf's Neue, die Erde zu messen, indem er am 25. Aug. des genannten Jahres die Höhe der Sonne in Paris maß und dann grade gegen Norden fuhr, bis er, am 29. August, an einen Ort gelangte, der eine um einen Grad geringere Sonnenhöhe hatte, wobei er in Betreff der täglichen Abnahme der Sonnenhöhe die erforderliche Correctur anbrachte.[96]) Den zurückgelegten Weg bestimmte er vermittelst der Umläufe eines seiner Wagenräder, dessen Umfang er vorher gemessen hatte. Derselbe betrug 20 Pariser Fuß, also, da das Rad 17024 Umdrehungen gemacht hatte, die Länge eines Grades 340480 Par. F. oder 56746²/₃ Toisen, was, die geogr. Meile zu 3807,23463 Toisen berechnet, den Umfang der Erde zu 5365,785 geogr. M. ergiebt, ein Resultat, welches der Wahrheit viel näher kommt, als man bei der nicht eben auf große Genauigkeit Anspruch machenden Methode füglich erwarten konnte. Fernel,

Nach ihm sollen[97]) der 1537[98]) zu Bamberg geborene Jesuit Christoph Clavius, Lehrer der Mathematik und Mitarbeiter an der gregorianischen Kalenderverbesserung, so wie der nächst Copernicus berühmteste der deutschen Astronomen, Keppler, noch verschiedene Mittel zu gleichem Zwecke gewählt haben; doch ist es uns nicht möglich gewesen, in den uns zu Gebote stehenden Quellen etwas Genaueres über die Art der von den beiden genannten Männern angewendeten Mittel aufzufinden. Clavius,

Derjenige, welcher zuerst den einzig richtigen Weg einer Gradmessung auf der Erdoberfläche betrat, indem er eine wirkliche Triangulation ausführte, wobei die Winkel mittelst Dioptern bestimmt wurden[99]), war der Niederländer Willebrord Snellius van Roijen, Professor der Mathematik an der Universität zu Leyden, der Entdecker des von Des Cartes zuerst bekannt gemachten Gesetzes von der Brechung der Lichtstrahlen.[100]) Seine im Jahre 1615 ausgeführte und in seinem „Eratosthenes Batavus, seu de terrae ambitus vera quantitate suscitatus. Lugd. Bat. 1617“ beschriebene Gradmessung, welche sich auf eine Basis zwischen Leyden und dem Dorfe Soeterwoude stützte, erstreckte sich von Alkmaar über Leyden bis Bergen op Zoom und ergab bei einem mittleren Abstande vom Aequator*) von 52° 2′ die Länge eines Grades zu 57145 Toisen.[101]) Snell,

Eine ähnliche Messung begann im Jahre 1628 des Snellius Landsmann Willem Janszoon Blaeu[102]), ein Schüler von Tycho de Brahe, zwischen dem Texel und der Maas. Blaeu,

Dieselbe Methode, wie die genannten Niederländer, befolgte[103]) der englische Lehrer der Schifffahrtskunst, Richard Norwood, bei seiner im Jahre 1633—36 zwischen London und York unternommenen Gradmessung, welche ganz mit der Kette ausgeführt wurde, indem alle Krümmungen und Erhöhungen reducirt wurden, und die den Grad des Meridians bei einem mittleren Abstande von 53° vom Aequator zu 57300 Toisen ergab. Norwood

*) Daß diese Bestimmung nicht unwesentlich ist, werden wir weiter unten sehen.

3

Riccioli u. Grimaldi, Eben so soll Pater Giovanni Battista (Giambattista) Riccioli, Lehrer der Astronomie, Gegner des Copernicanischen Systems, dem er (wahrscheinlich in seiner „Astronomia reformata") ein neues gegenüberzustellen versuchte, und Francesco Maria Grimaldi, Lehrer der Mathematik, beide am Jesuitercollegium zu Bologna, verschiedene zu diesem Zwecke dienende Vorschläge gemacht und selbst ausgeführt haben. Sie fanden in der Gegend von Modena die Länge eines Meridiangrades = 62650 Toisen.

Picard, Als die erste zuverlässige Erdmessung, bei welcher die Wasserwaage zur Anwendung kam und an den Winkelmeßinstrumenten Fernröhre mit Fadenkreuzen angebracht waren, wodurch es ermöglicht wurde, die Messung auf größere Dreiecke auszudehnen, wird in der Regel die des Prior Jean Picard, Prof. am Collège de France, genannt, der, durch die Akademie der Wissenschaften zu Paris, deren Mitglied er war, vorgeschlagen, auf den Befehl und auf Kosten Ludwig XIV. [104]), in den Jahren 1669 u. 70 mit den von ihm selbst vervollkommneten und mit exacterer Theilung versehenen Meßinstrumenten zwischen Sourdon, in der Nähe von Amiens, und Malvoisine, südlich von Paris, einen Bogen von 1° 22′ 55″ mit größter Genauigkeit maß und aus dieser Messung die Länge eines Grades im mittleren Abstande von 49° 23′ vom Aequator zu 57069 [105]) Toisen berechnete. Auf einer im Juli 1671 unternommenen Reise nach Holland und Dänemark hatte er Gelegenheit, das Manuscript der Messung des oben erwähnten Niederländers Blaeu bei dessen Sohne mit seiner eigenen Messung zu vergleichen, und fand zu seiner Freude, daß beide Resultate sich nur um die ganz geringe Differenz von etwa 60 rhein. Fuß unterschieden.

Picard's Gradmessung ist um so wichtiger geworden, als sie den Beweis des Newtonschen Gravitationsgesetzes ermöglichte. Newton war nehmlich schon im Jahre 1666, als er (nach einer nicht ganz verbürgten Erzählung) in seinem Garten einen Apfel von einem Baume fallen sah, auf den Gedanken gekommen, ob es nicht dieselbe Kraft sein könne, welche diesen Apfel nöthigte, zur Erde zu fallen, und welche auch den Mond zwingt, sich um die Erde, [106]) die Erde und alle andern Planeten, sich um die Sonne zu bewegen, und ob vielleicht diese Kraft ähnlich der Wirkung des Lichtes im umgekehrten Verhältnisse zum Quadrate der Entfernung stünde. Um sich von der Richtigkeit dieses Gedankens zu überzeugen, berechnete er zunächst aus der Entfernung des Mondes von der Erde und seiner Umlaufszeit den vom Monde in jeder Secunde zurückgelegten Weg. Hierauf zerlegte er diesen Weg in eine nach der Tangente der Mond-Bahn und eine nach dem Mittelpunkte der Erde gerichtete Componente und fand nun die letztere = 0,00361′. Um so viel würde sich also der Mond in der ersten Secunde der Erde nähern, wenn er lediglich der Anziehung derselben folgen könnte. Nun war noch zu berechnen, um wieviel der Mond sich in der ersten Secunde der Erde nähern würde, wenn seine Entfernung vom Mittelpunkte der Erde nicht 60,16 Erdhalbmesser, sondern nur einen Erdhalbmesser betrüge, wie die des fallenden Apfels, und da ergaben sich $60{,}16^2 \cdot 0{,}00361'$ oder 13,0564′. Diese Zahl stimmte nun bei weitem nicht mit der erforderlichen Genauigkeit mit dem Fallraume eines Körpers an der Oberfläche der Erde in der ersten Secunde, 15,625′ überein, um eine solche Uebereinstimmung als Beweis für die Richtigkeit der angenommenen Hypothese gelten lassen zu können. Newton brach also alle weiteren Untersuchungen über diesen Gegenstand gänzlich ab und würde sie vielleicht nicht wieder aufgenommen haben, wenn er nicht, volle 16 Jahre nach jenem ersten Versuche zufällig wieder darauf zurückgeführt worden wäre. „Es war im Juni des Jahres 1682", erzählt Littrow, [107]) „als Newton im Hause der Academie zu London unter den früher Angekommenen auf die für diesen Tag angesagte Versammlung wartete. Man sprach u. A. auch von einer neuen Gradmessung, die ein gewisser

Picard in Frankreich ausgeführt hätte, und eines der Mitglieder zeigte ein von ihm erhaltenes Schreiben vor, in welchem die Resultate dieser Vermessung enthalten waren. Newton nahm eine Abschrift der Zahlen und suchte, nach geendeter Sitzung zu Hause angekommen, seine alten Rechnungen vom Jahre 1666 wieder vor, um sie mit den Zahlen jenes Briefes zu vergleichen. Er bemerkte bald im Verfolge seiner Rechnungen, daß er sich der so lange gehofften Erfüllung seines Wunsches nähere; mit jeder Zeile wurde es ihm gewisser, daß er an der Schwelle einer großen Entdeckung stehe; — aber jetzt wurde er auch von einem so heftigen Beben seiner Nerven ergriffen, daß er die angefangene Rechnung nicht vollenden konnte. In diesem Zustande vertraute er sich einem hereintretenden Freunde, der den Griffel wieder aufnahm und die Rechnung zu Ende brachte."

Newton scheint nämlich bei seiner ersten Berechnung wunderbarer Weise weder von der obenerwähnten Größenbestimmung der Erde durch Snellius noch von der seines Landsmanns Norwood Kenntniß gehabt oder die Werke, in denen von diesen damals noch neuen Messungen die Rede war, in der Zurückgezogenheit seines damaligen ländlichen Aufenthaltes *) nicht bei der Hand gehabt zu haben, und einer damals allgemein angenommenen Voraussetzung gemäß den Meridiangrad in runder Zahl zu 60 englischen Meilen, also nahezu um $^1/_7$ zu klein angenommen zu haben.

Die von Picard begonnene Meridiangradmessung wurde seit 1683 [108]) von Philippe de La Hire weiter nach Norden bis Dünkirchen, etwas über 2° 12′ nördlich von Paris, und von dem älteren Cassini [109]) (Giovanni Domenico), der auf Anrathen Picard's vom Könige aus Bologna nach Paris berufen wurde, so wie seinem Sohne, Jacques Cassini, im Süden von Paris bis zu der kleinen Seefestung Collioure am mittelländischen Meere, 6° 18′ südlich von Paris [110]), oder nach andern Angaben bis zum Berge Canigou in den Pyrenäen fortgesetzt. Lahire, D. Cassini, J. Cassini

Hier ist es nun an der Zeit, zu erwähnen, warum es von besonderem Interesse war, bei den oben angegebenen Größen einzelner gemessener Meridiangrade immer die mittlere geogr. Breite des gemessenen Bogenstücks hinzuzufügen. Wir sind nämlich bei der Periode angelangt, in welcher sich mehr und mehr die Erkenntniß Bahn bricht, daß die Gestalt der Erde nicht genau die einer Kugel, sondern vielmehr eines Umdrehungsellipsoids (Sphäroids) sei, bei welchem die Umdrehungsachse kürzer als die Aequatorialachse ist. Wahrscheinlich [111]) war es die durch den älteren Cassini schon vor 1666 gemachte [112]) Entdeckung der Abplattung des Jupiter, welche Newton anregte [113]), die durch die Umdrehung des Jupiter um seine Achse bedingte Centrifugalkraft als Ursache dieser Abplattung anzunehmen, und, wiederum von einer solchen Centrifugalkraft zurückschließend, auch der Erde eine solche sphäroidale Gestalt zuzuschreiben. [114])

Zu demselben Resultate gelangte auch der berühmte Niederländer Huyghens [115]), der Erfinder der Pendeluhren. Die Größe der Abplattung wurde freilich von Newton und Huyghens noch sehr verschieden angegeben, von Newton dem später ermittelten genaueren Resultate gegenüber zu groß, $\frac{1}{230}$, von Huyghens zu klein, $\frac{1}{578}$. Nimmt man diese damals vorläufig nur aus theoretischen Gründen abgeleitete Annahme eines Sphäroids mit verkürzter Achse als richtig an, so müßte die Länge eines Grades um so größer sein, je größer die mittlere geogr. Breite desselben ist. Es sei nämlich AP ein elliptischer Quadrant, so ist leicht zu sehen, daß ein Bogen in der Nähe von A, dem Endpunkte der großen Achse, eine stärkere Krümmung hat, d. h., als Theil eines Kreises betrachtet, einem kleineren Kreise anzugehören scheint, als ein Bogen in der Fig. 7.

*) Sein Geburtsort Woolsthorpe, ein Dorf in Lincolnshire, etwa eine deutsche Meile südlich von der Stadt Grantham, wohin er sich, einer die Umgegend von Cambridge verheerenden pestartigen Krankheit ausweichend, begeben hatte.

Nähe von P, dem Endpunkte der kleinen Achse, oder mit andern Worten, daß man in der Nähe von A weniger weit zu gehen haben wird, als in der Nähe von P, um eine gleich große Krümmung wahrzunehmen, daß also die in verschiedenen geogr. Breiten gemessenen Meridiangrade mit der geogr. Br. ab- und zunehmen müssen.

Eisenschmidt,

Dieser theoretischen Behauptung trat nun zuerst Eisenschmidt[116]) mit der entgegengesetzten Behauptung entgegen, daß die Erde ein gegen die Pole hin verlängertes Sphäroid sei, wie sich aus der Vergleichung der Gradmessungen von Snell, Picard und Riccioli ergebe. Wahrscheinlich hatte er dabei das oben angegebene ursprüngliche Resultat von Snell vor Augen, da das spätere im Vergleich mit Picard's Messung eher die Newtonsche Ansicht unterstützen würde.

Auch das Resultat der französischen von Picard begonnenen, und von Lahire, Maraldi, D. u. J. Cassini fortgesetzten Gradmessung sprach gegen die Newtonsche Ansicht, da nach dieser Messung ein Meridiangrad im Süden von Frankreich sich um 71 Toisen größer herausstellte, als ein Grad im nördlichen Frankreich, so daß also nach dieser Messung die Erdachse länger als der Aequatorialdurchmesser hätte sein müssen. Cassini berechnete nämlich daraus die halbe Erdachse zu 3289684 Toisen, den halben Aequatorialdurchmesser zu 3255398 T. [117])

Diese einander entgegenstehenden Resultate veranlaßten einen hartnäckigen Streit zwischen den englischen Gelehrten, welche sich auf Newtons Hypothese beriefen, die auch in der That große Wahrscheinlichkeit hatte, da sie sich auf allgemeine physikalische Gründe stützte, und den französischen, welche auf die Geschicklichkeit und Autorität ihres großen Geometers, des älteren Cassini, pochten, der trotz der von ihm entdeckten Abplattung des Jupiter dennoch in Bezug auf die Erde andrer Meinung war und mit Recht behauptete, daß man in solchen Dingen wirklichen Messungen mehr Zutrauen schenken müsse, als allgemeinen Schlüssen. Indessen war das Gewicht der von Newton angeführten Gründe doch so schwerwiegend, daß schließlich selbst die französischen Gelehrten anfingen, gegen ihre Messung mißtrauisch zu werden. Daher wiederholte J. Cassini seine Messung mit veränderten Orten, Werkzeugen und Methoden, erhielt aber wieder dasselbe Resultat, so daß also die genauesten Messungen und richtigsten Rechnungen mit anerkannten physikalischen Gründen in beharrlichem Widerspruche blieben.

Da kam man endlich in der französischen Akademie auf den glücklichen Gedanken, die Ursache des Widerspruchs darin zu suchen, daß der in Frankreich gemessene Meridianbogen von $8\frac{1}{2}^{0}$ noch ein viel zu kleines Stück vom Meridiankreise sei (das Stückchen BD in Fig. 7 würde etwa einen solchen Bogen repräsentiren), als daß man daraus mit Zuverlässigkeit die Behauptung einer verlängerten Erdachse gegen Newton aufrecht erhalten könne. Um nun die Frage entgültig zu entscheiden, schlug die Akademie vor, einige Meridiangrade unter dem Aequator und in der Nähe des Pols besonders zu messen. Dieser Plan wurde Ludwig XV. vorgelegt, der die dazu erforderlichen Geldmittel bewilligte, und von einigen Mitgliedern der Academie wirklich ausgeführt.

peruanische Gradmessung,

Im Jahre 1735 gingen nämlich die berühmten Geometer Charles Marie de la Condamine[118]), Pierre Bouguer[119]) und Louis Godin mit vielen andern Gelehrten, unter denen sich auch Antoine de Jussieu,*) Pierre Couplet des Tartreaux, so wie die beiden Spanier Don Jorge Juan y Santacilia[120]) und Don Antonio de Ulloa befanden, nach Peru unter Segel. Der Maaßstab, welchen sie mitnahmen, war die so bekannt gewordene Toise de Pérou, 1735 von Langlois unter Leitung von Godin angefertigt. Sie war von Eisen, 17—18 Linien breit, 4 Linien dick und hatte ihre genaue Länge bei $16\frac{1}{4}^{0}$ C. [121]) Die Expedition stellte ihre Beobach-

*) Der Bruder des berühmten Gartenaufsehers zu Trianon (von dem das ältere Jussieu'sche Pflanzensystem oder das System von Trianon seinen Namen hat).

tungen in der Hochebene von Quito, der jetzigen Hauptstadt der Republik Ecuador zwischen Tarqui 3° 4′ 32″ südl. Br. und Cotchesqui 0° 2′ 31″ nördl. Br. an.

lappländische,

Im darauf folgenden Jahre (1736) schickte die Academie auf Anregung und unter Leitung des berühmten schwedischen Astronomen Andreas Celsius, [122]) bekannt als Urheber der hunderttheiligen Thermometerscala, [123]) der, da es um diese Zeit in Schweden weder Sternwarten, noch astronomische Instrumente gab, im Auftrage seiner Regierung die berühmtesten deutschen, italienischen und französischen Sternwarten bereiste, und auf dieser Reise sich auch in Paris aufhielt, die Astronomen Pierre Louis Moreau de Maupertuis, [124]) Alexis Claude Clairault, einen ausgezeichneten französischen Mathematiker, der schon in seinem 12. Jahre vor der Pariser Academie einen Aufsatz über 4 Curven dritter Ordnung las, die ihn dafür mit Lobsprüchen überhäufte und schon im 18. Jahre unter ihre Mitglieder aufnahm, [125]) Charles Etienne Louis Camus, Pierre Le Monnier und den Abbé Reginaud Outhier [126]) nach dem schwedischen Lappland. Ihr Maaßstab war mit der Toise v. Peru von gleicher Länge und, wie diese, ebenfalls von Langlois unter der Leitung von Condamine angefertigt. Sie maßen in der Nähe der Stadt Tornea (s. o. Seite 15) in einer mittleren geogr. Breite von 66° 19′ 37″ einen Bogen von 0° 57′ 30,4″ [127]). Den bei dieser Messung benutzten Quadranten hat Maupertuis als nachmaliger Präsident der physikalischen Klasse der Academie der Wissenschaften zu Berlin diesem Institute geschenkt, und er befindet sich noch gegenwärtig auf der Berliner Sternwarte.

Die lappländische Expedition kehrte schon im August des folgenden Jahres nach Frankreich zurück, und Maupertuis gab die Länge des Meridiangrades für die in Rede stehende geogr. Breite zu 57437,9 Toisen an, [128]) ein Resultat, welches Celsius [129]) als um 1200′ zu groß nachwies. Auf den von Celsius corrigirten Werth bezieht sich wahrscheinlich die Angabe von Humboldt, [130]) nach welchem die Länge des von Maupertuis gemessenen Grades 57201,8 Toisen betrug. Dieses Resultat erfuhr später durch Svanberg eine nochmalige Correctur, von der weiter unten die Rede sein wird.

Die peruanische Expedition hatte einen viel größeren Bogen (von 3° 7′ 3,5″) mit viel größerer Genauigkeit, als Maupertuis, gemessen, auch mit größeren Beschwerden (wie u. a. mit dem Aberglauben der rohen Gebirgsbewohner, oft auch mit dem Mangel an den nothwendigsten Bedürfnissen) [131]) zu kämpfen gehabt, als die nach dem Polarkreise gesendete Expedition. Sie beendigte deshalb ihre Messung erst nach 9 Jahren, im Jahre 1744, und fand für die mittlere geogr. Breite von 1° 31′ 0,5″ die Länge des Grades zu 56753 Toisen. [132])

Der Erfolg dieser in Lappland und Peru angestellten Messungen gab nun auch wirklich die gewünschte Entscheidung; denn der am Polarkreise gemessene Meridiangrad ergab sich um 684,9 [133]) Toisen länger, als der am Aequator gemessene, und zwischen beiden lag seiner Länge wie seiner geogr. Br. nach der in Frankreich gemessene Meridiangrad. Die von Newton aus theoretischen Gründen vertheidigte Meinung hatte also nun auch durch die wirkliche Messung ihre Bestätigung gefunden. Aus diesen Messungen berechnete Maupertuis die halbe Erdachse zu 3262800 Toisen, den Aequatorialhalbmesser zu 3281240 Toisen, [134]) also Ersteren um 18440 Toisen oder nahezu um den 178. Theil [135]) des Letzteren größer, als diesen. Er war so stolz auf diesen seinen Erfolg, daß er sich sogar malen ließ, wie er die Erde platt drückt. [136])

Messung des C. Cassini,

Zu gleicher Zeit hatte nun auch César Cassini de Thury, der Sohn v. Jacques Cassini, im Verein mit Bouguer, le Monnier, Camus, Alexandre Guy Pingré und Nicolaus Louis de Lacaille die unter der Leitung seines Großvaters begonnene, unter der Leitung seines Vaters vollendete Gradmessung in Frankreich nochmals wiederholt. [137]) Im harten Winter 1740 warf

Lacaille, einer der ausgezeichnetsten französischen Astronomen, dem Lalande nachrühmt, daß er allein mehr Beobachtungen und Rechnungen gemacht habe, als alle Astronomen seiner Zeit zusammen, und dem an Sorgfalt, Geschick, Sicherheit und tiefer Combinationsgabe nicht leicht ein Gelehrter seiner Zeit gleich kam, sein Dreiecksnetz über die höchsten Berge der Auvergne, um den Meridian an eine kurz vorher bei Riom gemessene Basis zu knüpfen. [138]) Als Resultat dieser unter Cassini's, des Enkels, Leitung ausgeführten Messung ergab sich nun auch im Gegensatze zu dem Resultate der unter dem Großvater und Vater ausgeführten Messungen ein nördlicherer Grad unter 50° 27′ geogr. Br. zu 57092 Toisen, also um 52 Toisen länger, als ein südlicherer Grad unter 46° 14′ geogr. Br., welcher sich auf nur 57040 Toisen stellte. [139])

Bouguer, Aus dieser französischen, der lappländischen und seiner peruanischen Messung berechnete Bouguer die halbe Erdachse zu 3262688,5 T. und den Aequatorialhalbmesser zu 3281013 T., also Letzteren um 18324,5 T. oder etwa um seinen 179. Theil größer als Ersteren. Bei dieser Berechnung fand er, daß die Unterschiede der unter verschiedenen geogr. Breiten gemessenen Grade von dem unter dem Aequator gemessenen sich nahezu, wie die 4. Potenzen der Sinus dieser geogr. Breiten verhalten, daß also die Gestalt des Erdmeridians sich auch von der reinen Ellipsenform wesentlich unterscheide, welche bedingen würde, daß diese Unterschiede sich wie die Quadrate der Sinus der g. Br. verhalten. [140])

Mallet, Ein Jahr später, 1750, gab Friedrich Mallet, Observator an der Sternwarte zu Upsala eine Dissertation [141]) heraus, in welcher er mit Hilfe der Analysis aus 5 Gradmessungen die halbe Erdachse zu 3264049 T., den Aequatorialhalbmesser zu 3280451 T., also Letzteren um 16402 T. oder nahezu um seinen 200. Theil größer, als Ersteren berechnete.

Euler, Auch der „Alles umgestaltende" (wie ihn Humbold [142]) nennt) berühmteste Analytiker des vorigen Jahrhunderts, Leonhard Euler, blieb dieser Frage nicht fern. Er suchte die vier von Franzosen gemessenen Bogen dadurch in Uebereinstimmung zu bringen, daß er jeden etwas änderte, [143]) wogegen sich jedoch Lacaille [144]) ausdrücklich verwahrte.

Messung am Cap, Lacaille unternahm vom Herbst des Jahres 1750 bis zum Herbst des Jahres 1754 eine Reise zu astronomischen Zwecken nach dem Cap der guten Hoffnung. [144]) Er wollte nehmlich die Parallaxe des Mondes, der Venus und des Mars, so wie die Refraction vom Süden des Aequators aus bestimmen. Bei dieser Gelegenheit maß er auch zum ersten Male einen Meridianbogen von 1° 13′ 17,5″ Länge auf der südlichen Hemisphäre, und fand unter einer mittleren geogr. Breite von 33° 18′ 30″ die Länge des Grades 57035,6 T. [145]) Lacaille war nicht wenig überrascht, in einer so geringen Breite den Grad fast so groß zu finden, als denjenigen, welchen er mit Cassini in viel höherer g. B. in Frankreich gemessen hatte, woraus zu folgen schien, daß die Erde kein regulärer Umdrehungskörper sei, bestehend aus zwei gleichen Theilen zu beiden Seiten des Aequators, sondern daß der südlichere Theil, im Allgemeinen betrachtet, eine stärkere Abplattung zeige, als der nördliche. Indeß macht schon Laplace [146]) darauf aufmerksam, daß die ziemlich großen Irrthümer, welche neuere Messungen in dieser Art von Beobachtungen haben auffinden lassen (Irrthümer, welche um so verzeihlicher waren, da Lacaille seine Messungen innerhalb der sehr kurzen Zeit von nur 2 Monaten zu Ende führte) [147]), uns in den Folgerungen, welche wir daraus ziehen, vorsichtig machen müssen. Und in der That haben die neueren Messungen auch wirklich die Unhaltbarkeit einer solchen Annahme herausgestellt. Einen glänzenden Beweis für seinen rein wissenschaftlichen Eifer lieferte Lacaille bei seiner Rückkehr dadurch, daß er die ihm angebotene Gratification von 100000 Livres ausschlug, und sich von dem Agenten der königlichen Schatzkammer nur den genau berechneten Kostenbetrag seines Unternehmens mit 9144 Livres 5 Sous erstatten ließ.

In dieselbe Zeit fällt auch die auf Anordnung und Kosten des Papstes Benedict XIV. von den Jesuiten Ruggiero Giuseppe Boscowich und Christoph Le Maire im Jahre 1751 zwischen Rom und Rimini unternommene Gradmessung,[148]) welche für die mittlere g. B. von 43° 1′ [149]) Die Länge des Grades zu 56979 T. [150]) ergab, ein Resultat, welches den oben erwähnten Berechnungen von Newton, Maupertuis und Bouguer nicht mit der gewünschten Genauigkeit entsprach, was schon damals zu der später bestätigten Vermuthung führte, daß die verschiedenen Meridiane ungleich seien, und daß die Erde sich überhaupt in keine bestimmte regelmäßige mathematische Figur bringen lasse. römische Gradmessung,

Eben so begann im Jahre 1759 auf königlichen Befehl der durch seine Untersuchungen über Electricität und als Erfinder des zur Beobachtung des täglichen Zustandes der atmosphärischen Electricität dienenden Explorators bekannte Professor der Physik an der Universität zu Turin, Giacomo Battista Beccaria (Beccheria), in Gemeinschaft mit dem Abt Canonica eine Gradmessung in Piemont,[151]) welche für eine mittlere geogr. Br. v. 44° 44′ die Länge des Grades zu 57069 T. [152]) ergab, ein Resultat, dessen Genauigkeit von Cassini angezweifelt wurde, so daß sich Beccaria veranlaßt sah,[153]) darauf aufmerksam zu machen, daß möglicherweise die Nähe der Alpen auf die Abweichung des Senkbleies an seinem astronomischen Quadranten von nicht unerheblichem Einfluß gewesen sein könne. piemontesische,

Auch in Oesterreich wurden zu jener Zeit von dem Jesuitenpater Joseph Liesganig zwei Meridianmessungen ausgeführt, die eine bei Wien, welche für eine mittlere geogr. B. von 48° 43′ die Länge des Grades zu 57086 T. ergab; die andre in Ungarn, welche für eine m. g. B. v. 45° 57′ die Länge des Grades zu 56881 T. ergab.[154]) österreichische,

Bald darauf, in den Jahren 1764—68, wurden Charles Mason, Gehülfe von Bradley auf der Sternwarte zu Greenwich, mit dem er bereits im Jahre 1761 den Durchgang der Venus durch die Sonnenscheibe am Cap der guten Hoffnung beobachtet hatte, und Jeremiah Dixon von der englischen Regierung abgesandt, um die Grenzen von Maryland, Pennsylvanien und Virginien festzusetzen, bei welcher Gelegenheit sie auch, auf Kosten der Roy. Society, eine Gradmessung (ohne Triangulation) ausführten.[155]) Die Länge des gemessenen Bogens betrug 1° 28′ 45″ und ergab bei einer m. g. B. von 39° 12′ die Länge des Grades zu 56889,6 T. [156]) Auch dieses Resultat schien, verglichen mit dem von Lacaille, für eine stärkere Abplattung der südlichen Halbkugel zu sprechen. pennsylvanische,

Die der Zeit nach nächsten in dieses Gebiet einschlagenden Arbeiten sind: eine Schrift des Warschauer Cadettencorpsdirectors Johann Michael Hube,[157]) welcher sich im Allgemeinen an das oben erwähnte, von Bouguer aufgestellte Gesetz anschließt, so wie die Arbeiten des durch sein mathematisches Wörterbuch bekannten Hallenser Professors Georg Simon Klügel,[158]) welcher Formeln aufsuchte, die bei der möglichsten Näherung aller auf der nördlichen Halbkugel gemessenen Meridiangrade für den Aequatorialhalbmesser 3279991 T. für die halbe Erdachse 3262447 T., also für die Abplattung $\frac{1}{187}$, ferner für die Länge eines Grades unter dem Aequator 57247 T., auf dem mittleren Umfange der Erde 57173,5 T., für die Länge des Aequators 5407 geogr. M., für die Länge eines Meridians 5393 geogr. M. ergaben. Berechnung von Hube, Klügel,

In dieser Zeit (1787) war der schon oben erwähnte Leiter der römischen Gradmessung, Boscowich, auf Befehl Joseph II. mit einer Gradmessung in der Lombardei beschäftigt, als ihn am 12. Febr. des genannten Jahres zu Mailand der Tod ereilte. lombardische Gradmessung, ostindische v. Burrow,

Die erste ostindische Gradmessung verdanken wir dem Lehrer der Mathematik am Ingenieurcorps der englisch-ostindischen Compagnie, (früher Gehilfe der Sternwarte zu Greenwich unter Maskelyne) Reuban (Reuben od. Ruben) Burrow, welcher in den Jahren 1791 u. 1792 im Auftrage der ostindischen Compagnie in Ostindien eine Gradmessung unternahm, bei welcher er zwar mit nur mittelmäßigen Instrumenten (nur mit einer stählernen Meßkette, ohne Dreiecksnetz) doch mit großem Fleiße, in der Richtung des Meridians einen Bogen von 1° 7′ 50″ maß, woraus sich die Länge des Grades zu 56725,3 Toisen ergab. Auch er starb, während er noch mit dieser Messung beschäftigt war, und sein Gehilfe, Isaac Dalby, gab nach seinem Tode eine Beschreibung dieser Messung heraus. [159])

kosmisches Normalmaaß,

In Europa erhielten diese Untersuchungen eine neue Anregung in der durch die französische Revolution hervorgerufenen gewaltigen Bewegung der Geister, welche u. A. auch die Einführung eines kosmischen Normalmaaßes verlangte. Der Ruhm der ersten Anregung dieser Idee gebührt jedoch dem über hundert Jahre früher lebenden Zeitgenossen von Huyghens, dem Astronomen Gabriel Mouton, Vicar an der Paulskirche zu Lyon, der [160]) zuerst den Gedanken aussprach, daß die Erdbewohner den Maaßstab für räumliche Verhältnisse von der Erde selbst entnehmen müßten, eben so die Mondbewohner vom Monde, die Jupiterbewohner vom Jupiter u. s. w. Zu diesem Ende schlug er vor, die Länge eines Meridianbogens von einer Minute als Längeneinheit einzuführen und Mille (Meile) zu nennen, so daß ein Meridiangrad 60 Meilen betragen würde, drang aber mit seinem Vorschlage nicht durch. Da nun im Jahre 1789 mehrere Städte Frankreichs (Paris, Lyon, Rheims, Dünkirchen, Rouen, Rennes, Orleans u. a.) bei der damals stattfindenden Deputirtenwahl um Abschaffung der verschiedenen Maaße petitionirten, brachte Talleyrand Perigord die Petition 1790 vor die constituirende Versammlung. Es wurde ein Gutachten der Pariser Academie eingefordert, und diese schlug vor, einen Meridianbogen von Dünkirchen bis Barcelona zu messen, daraus die Länge des Meridianquadranten zu berechnen und den zehnmillionsten Theil davon unter dem Namen Mètre als Maaßeinheit einzuführen. Am 26. Mai 1791 wurde dieses Gutachten der Nationalversammlung vorgelegt, und vier Tage nachher der Vorschlag angenommen. [161])

franz. Messung durch Delambre u. Mechain,

Mit der Ausführung der Messung wurden zwei Mitglieder des Institut national beauftragt, Jean Baptiste Joseph Delambre [162]) und Pierre François André Mechain, welche im Jahre 1792 ihre Messungen begannen. Delambre maß den Bogen von Dünkirchen über Paris bis Rodez und Mechain das Stück von Rodez bis zum Thurme von Montjouy bei Barcelona. Die Arbeiten erlitten mannigfache Störungen, besonders durch die in der Revolution so häufige Vernichtung der Thürme, wodurch viele Stationen, welche bei Cassini's und Lacaille's Messungen benutzt worden waren, unbrauchbar wurden. Es wurde deshalb die Heranziehung einer großen Zahl namhafter Naturforscher nöthig, weshalb die Messungen auch erst im Jahre 1799 beendigt wurden. Sie übertrafen aber auch nicht nur durch die Vollkommenheit der angewendeten Instrumente, *) und durch die Genauigkeit der Operationen, sondern auch durch ihre Ausdehnung alle früheren Messungen. Der gemessene Bogen erstreckte sich nämlich von 51° 2′ 10,5″ n. Br. bis 41° 21′ 44,8″ n. Br., betrug also nicht weniger, als 9° 40′ 25,7″ und hatte eine Länge von

*) Alle terrestrischen u. astronomischen Beobachtungen machte man mit dem Mayer — Borda'schen Multiplicationskreise (in Jahns Wörterb. d. angew. Math. I, Seite 103 ff. ausführlich beschrieben). Bei Melun wurde mit 4 von Lenoir gefertigten Platinameßstangen eine Basis von 6057,9 Toisen, bei Perpignan eine Verificationsbasis (s. o. S. 15) von 6006,25 Toisen gemessen. Das Resultat aus den Dreiecken stimmte bis auf 10 Zoll mit der directen Messung (Jahn, Gesch. d. Astr. II, 152).

551584,72 T. od. 1275792,36 Meter, woraus sich für die m. g. Br. von 46° 11′ 47,65″ die Länge des Grades zu 57019,5 T. ergab, was mit dem früher von Cassini gefundenen Resultate (57040 T. f. d. m. B. v. 46° 14′) bis auf etwa 20 T. übereinstimmte. Dieses Resultat wurde nun mit dem von Bouguer u. Condamine (s. o.) in Peru gemessenen Bogen verglichen und aus beiden nach einer sorgfältigen Berechnung die Abplattung der Erde auf $\frac{1}{334}$, der Meridianquadrant zu 5130740 Toisen berechnet. Das Endresultat der ausgeführten Messung war nach Delambre's Berechnung die wahre Länge des Meters gleich 443,3279942 bis 443,328 par. Linien, nach van Swindens Berechnung 443,2959942 bis 443,296 par. Linien. Durch Decret vom 19. Frimaire des Jahres VIII. der Republik wurde hierauf festgesetzt, daß der Meter die Länge einer Metallstange haben solle, welche selbst bei 0° Temperatur auf der normal bestimmten Toise von Peru bei 16,25° C. der letzteren 443,296 par. Linien mißt, das sind 3,07844 par. Fuß oder 3,18633 rheinl. Fuß. Bereits vorher, am 4. Messidor des Jahres VII. hatten nach Beendigung der Messung die Commissarien — Laplace an der Spitze — die auf's genaueste gearbeiteten Normalmaaße dem gesetzgebenden Körper für das Archiv der Republik übergeben, um sie mit der größten Sorgfalt aufzubewahren. Nur in außerordentlichen Fällen sollten diese benutzt werden. Es waren dies ein von Lenoir verfertigter Meter von Platin [étalon primitif] und zwei stählerne, an den Enden mit Messing. Für den gewöhnlichen Gebrauch wurde ein dem étalon primitif ganz gleicher Meter von Platin unter Aufnahme eines besondern Documents auf der Sternwarte niedergelegt und unter Aufsicht des Bureau des Longitudes gestellt. [164])

Nach einer Notiz der Leipziger illustr. Zeitung vom 2. Nov. 1867, Seite 290, wo auch eine durch Thomas in China im vor. Jahrh. ausgeführte Gradmessung erwähnt wird, soll der franz. Astronom Nicolas Antoine Nouet, welcher die Expedition nach Egypten mitmachte, daselbst ebenfalls eine Gradmessung ausgeführt haben. chines. Gradm., egyptische,

Während, wie wir so eben gesehen haben, die Vergleichung der französischen mit der peruanischen Gradmessung eine Abplattung von $\frac{1}{334}$ ergab, stellte sich bei der Vergleichung der lappländischen mit der peruanischen Gradmessung eine Abplattung von $\frac{1}{213}$ heraus, was darauf hinzudeuten schien, daß der von Maupertuis gemessene lappländische Grad zu groß sei. [165]) Deshalb genehmigte auf Ansuchen des schwedischen Astronomen Melanderhielm, der sich für diese Sache besonders interessirte, [166]) der junge Schwedenkönig Gustav IV. auf seine Kosten im Jahre 1801 eine neue sorgfältigere Messung in Lappland mit bessern Instrumenten, deren Ausführung mehreren Mitgliedern der schwedischen Academie der Wissenschaften, Jöns Svanberg, [167]) Jonas Oefverbom, Daniel Erhard Holmquist und Palander, übertragen wurde. Dieselben reisten im Anfange des Jahres 1802 nach Lappland. Der von ihnen gemessene Bogen war länger, als der von Maupertuis gemessene: er erstreckte sich von Mallörn bis Pathavara und betrug 1° 37′ 19,57″, was bei der terrestrischen Entfernung der Parallelkreise v. M. u. P., 92777,981 T., [168]) die Länge des Grades für die m. g. B. von 66° 20′ 10″ zu 57196,16 T. [169]) ergiebt, mithin um fast 250 Toisen kleiner, als ihn Maupertuis gefunden hatte. Dieses Resultat, mit dem peruanischen verglichen, ergab die Abplattung $\frac{1}{310}$, was mit dem oben angegebenen Resultate der Vergleichung zwischen dem französischen und peruanischen Grade, $\frac{1}{334}$, schon viel genauer übereinstimmt. Svanberg erhielt für seine mühsamen Arbeiten den von Lalande ausgesetzten astronomischen Preis. neuere lappländische,

In dieselbe Zeit, 1802, fällt auch eine von dem Colonel der brittischen Armee, William Lambton, der in Indien 20 Jahre lang mit trigonometrischen Messungen beschäftigt war, an der Küste Koromandel ausgeführte Gradmessung, welche die oben erwähnte des Burrow durch Vollkommenheit der dabei gebrauchten Instrumente weit übertraf. Mit einer Ramsdenschen Kette ostind. v. Lambton, wurde eine 40006,4 Fuß lange Basis gemessen und mit dieser ein Netz von 32 Dreiecken verbunden, in welchem nur zweimal der bedeutendste Fehler 6″ betrug. Die geogr. Breite der beiden Endpunkte Paudré u. Trivandeporum wurde mit einem 5füßigen Ramsdenschen Zenithsector resp. zu 13° 19′ 49,018″ und 11° 44′ 52,590″, also der gemessene Bogen zu 1° 34, 56,428″ bestimmt. Da nun der Abstand der beiden durch Paudré u. Trivandeporum gelegten Parallelkreise 95721,32 Toisen betrug, so ergab sich die Länge des Grades für die mittlere geogr. Br. von 12° 32, 20,804″ zu 56763 T. [170]). Lambton hat hierauf seine Messung noch weiter ausgedehnt, nämlich von 8° 9′ 38,4″ bis 18° 3′ 23,6″, und die Länge des Grades unter den Breiten von 9° 34′ 14″, 12° 2′ 55″ und 16° 34′ 4″ resp. zu 56760,8 T., 56774,6 T. u. 56798,4 T. bestimmt. Als er jedoch später durch eine Bemerkung Katers auf einige mögliche Fehler aufmerksam gemacht wurde, unternahm er eine nochmalige Revision der ganzen Messung, corrigirte namentlich die zur Messung der Basis angewendeten Stangen hinsichtlich ihrer Ausdehnung durch die Wärme und reducirte sie auf schärfer bestimmte Normalmaaße, wodurch er für die erwähnten drei Breitengrade die durchschnittlich etwas kleineren Werthe 56746,50 T., 56757,63 T. u. 56777,63 T. erhielt.

thüringische,

So gewaltige Anstrengungen waren von allen europäischen Grenznachbarn, Franzosen, Niederländern, Engländern, Schweden, Italienern, Oesterreichern, schon gemacht, bevor unser engeres Vaterland, Preußen, mit in die Arena eintrat. Die erste Spur einer preußischen Betheiligung an derartigen Unternehmungen finden wir im Jahre 1803. In diesem Jahre übertrug nämlich Friedrich Wilhelm III. dem Director der Sternwarte auf dem Seeberge bei Gotha, Franz Xaver v. Zach, der sich schon früher als österreichischer Ingenieur unter Liesganig mit Vermessungen beschäftigt hatte und durch die von ihm begründete „Monatliche Correspondenz zur Beförderung der Erd- und Himmelskunde" bekannt geworden ist, die Vermessung des Eichsfeldischen Distriktes, und Herzog Ernst II. v. Gotha genehmigte die Verbindung dieser Messung mit der einiger Längen- und Breitengrade in Thüringen [171]). Mancherlei ausgezeichnete Instrumente waren schon dazu bestimmt, und zur Messung der Grundlinie wurde ein sehr guter Apparat von Meßstangen angefertigt. Schon hatte man 4 fundamentale Breitenbestimmungen ausgeführt, einen bedeutenden Theil des ganzen Dreiecksnetzes entworfen und fast einen ganzen Breitengrad triangulirt; es gab bereits beobachtete Azimuthe mehrerer Punkte, eine abgesteckte Basis von mehr als 9000 Toisen [172]), von denen schon 8000 sehr genau gemessen waren: da hemmte ein Zusammentreffen entgegenstehender Umstände die weitere Ausführung.

schwäbische,

Kurz vorher hatte der durch seine Schwungmaschine zum Beweise der Umdrehung der Erde, welche auf Napoleons Befehl in allen Schulen Frankreichs eingeführt wurde, so wie durch seine electrischen Versuche bekannte Tübinger Prof. d. Math. Johann Gottlieb Friedr. v. Bohnenberger eine trigon. Vermessung v. Schwaben unternommen [173]).

hessische,

Eben so brachte in den Jahren 1804—7 Christian Ludw. Philipp Eckhardt, um v. Zachs Wunsch der Ausführung einer trig. Verbindung des Seeberges mit Mannheim zu realisiren, mit sehr beschränkten Mitteln ein Dreiecksnetz zwischen der Stadt und dem Herzberge zu Stande, und im Jahre 1807 maß er in Gemeinschaft mit dem Darmstädter Gymnasiallehrer Ludw. Schleiermacher eine Basis bei Darmstadt. Doch gelangten diese Arbeiten erst im Jahre 1830 zu einem brauchbaren Abschlusse, als v. Brandt die Verbindung dieses Dreiecksnetzes mit Göttingen zu Stande brachte [174]). Die Länge des Grades in der mittl. g. Br. v. 49° 38′ 14″ ergab sich zu 57054,237 T. die Länge des Grades unter 45° Breite zu 57006,509 T., die des Meters zu 443,2826 par. Linien, die kleine Achse zu 3260984,96 T., die Abplattung zu $\frac{1}{306,07}$.

Die durch Delambre und Mechain ausgeführte französische Gradmessung übertraf zwar alle andern an Ausdehnung und Genauigkeit; dennoch begnügten sich die Franzosen, deren Ruhmsucht sich hier einmal ein löbliches Ziel gesteckt hatte und die in dieser Frage wirklich an der Spitze der Civilisation marschirten, noch nicht mit diesem Erfolge. Schon Mechain hatte daran gedacht, die balearischen Inseln mit der spanischen Küste zu verbinden [175]) und hierauf den Plan gegründet, den von Dünkirchen bis Barcelona gemessenen Bogen noch um einige Grade zu verlängern. Die Ausführung dieses Planes trug jedoch nicht wenig zu Mechains Tode bei [176]), da er bei dem zu sehr verlängerten Aufenthalte in jenem ungesunden Küstendistrikte Spaniens dem gelben Fieber unterlag [177]). Im Jahre 1806 erhielten nun zwei Mitglieder des Bureau des Longitudes, der ausgezeichnetste Physiker seiner Zeit, Jean Baptiste **Biot**, und der als Astronom und Physiker gleich sehr berühmte Freund Humbold's, Francois Jean **Arago** [178]), vom Institut national den Auftrag, den französischen Gradbogen im Verein mit den beiden spanischen Commissarien Joseph **Chaix** und Don José **Rodriguez** bis zur Insel **Formentera**, der kleineren der Pityusen fortzusetzen [179]). Daß die Verbindung der Inseln mit dem Festlande, die blos mittelst eines Dreiecks erlangt werden konnte, in welchem die eine Seite über 82500 T. ($21^3/_4$ deutsche Meilen) Länge hatte, mit unzähligen Schwierigkeiten verknüpft war, ist einleuchtend. Die beiden Berge Desierto de las Palmas und Mongo bildeten an der spanischen Küste die Basis dieses großen Dreiecks, dessen Spitze der Berg Campvey auf Iviza war [180]). Nur mit Nachtsignalen (Lampen mit Reverberen) konnte man die Winkelbeobachtungen anstellen. Diese Nachtsignale wurden anfangs gar nicht wahrgenommen, bis man endlich auf den Gedanken kam, am Tage schon die Fernröhre dahin zu richten, wo man sie zu erwarten hatte, worauf nun die Signale des Nachts als kleine Fixsterne sichtbar wurden. Später ward auch die Insel Formentera in das große Dreiecksnetz aufgenommen und zwar als südlicher Endpunkt, dessen geogr. Br. aus nicht weniger als 1558 mittelst eines Fortin'schen Kreises angestellten Beobachtungen des Polarsterns zu $38^0\ 39'\ 56{,}16''$ bestimmt wurde. Fortsetzung der franz. M. durch Arago u. Biot,

Dieser Expedition stand ein fast romanhaftes Schicksal bevor: als nämlich im Jahre 1808 der spanische Krieg ausbrach, wurde Arogo von den politisch mißtrauischen Insurgenten festgenommen und erst nach einigen Monaten aus seiner Haft in der Festung Rosas entlassen. Als er nun von hier zur See nach Frankreich zurückkehren wollte, fiel das Schiff, auf welchem er sich befand, in die Gewalt eines algierischen Corsaren, der ihn als Sklaven mit nach Hause nahm. Erst im folgenden Jahre erhielt er durch die Vermittelung des dortigen französischen Consuls die Freiheit wieder und kehrte im Sommer mit seinen glücklicher Weise geretteten Instrumenten und Manuscripten, welche die Resultate seiner durch den Krieg unterbrochenen Messungen enthielten, nach Frankreich zurück. Die Länge des ganzen Bogens von Dünkirchen bis Formentera betrug nun nicht weniger als $12^0\ 22'\ 13{,}39''$ [181]) oder 705188,8 Toisen (fast 200 Meilen) und ergab für die m. g. B. von $44^0\ 51'\ 2{,}83''$ [182]) die Länge des Grades zu 57012,5 Toisen [183]) und die Abplattung zu $\frac{1}{308}$, so wie die Länge des Meters zu 443,2958 par. Linien.

Während auf die beschriebene Art der französische Meridianbogen nach Süden durch Spanien hindurch bis zu den Inseln des Mittelmeeres ausgedehnt wurde, erhielt er eine weitere Ausdehnung nach Norden durch die Arbeiten der Engländer. Unter diesen hatte schon früher William Roy die Entfernung und gegenseitige Lage der Sternwarten von Paris und Greenwich bestimmt [184]). An diese Arbeiten schloß sich nun die **englische Gradmessung** von William **Mudge** an [185]). Die Länge ($2^0\ 50'\ 23{,}38'' = 162065{,}17$ Toisen) des gemessenen Bogens, so wie die Vortrefflichkeit der gebrauchten Instrumente gab dieser Messnng einen hohen Werth. Auch englische Gradm., hat dieselbe alle später angestellten Prüfungen rühmlich bestanden. Die Länge eines Grades unter 51° 2′ 54″ wurde zu 57127,65 Toisen, unter 52° 50′ 29,8″ zu 57017,06 T. und im Mittel unter 52° 2′ 19,8″ zu 57069,8 Toisen gefunden. Indeß zeigten sich in den Resultaten gewisse Anomalien, welche alle Aufmerksamkeit auf sich zogen. Als man die für die 8 Theile des gemessenen Bogens gefundenen Bestimmungen nach der Methode der kleinsten Quadrate behandelte, ergab sich eine Ellipse mit der Aequatorialabplattung $\frac{1}{55}$. Jahn, dessen Gesch. d. Astr. die Notizen über diese Messung zumeist entlehnt sind, sagt hierüber: „Man möchte an der Wirklichkeit dieses ganz anomalen Resultates zweifeln, wäre es nur irgend möglich, die Resultate der ganzen Messung überhaupt auf irgend eine andre völlig zufriedenstellende Weise zu geben“. Mudge selbst glaubte, gedachte Anomalien wären Folgen von Localattraktionen des Pendels, und zugleich hätte in Clifton eine Abweichung von 8 Secunden nach Süden stattgefunden.

rheinische, In den Jahren 1814—17 wurde unter der Direction des bekannten Generalquartiermeisters der schlesischen Armee, Friedrich Ferdinand Karl von Müffling, der schon im Jahre 1798 bei einer Vermessung Westphalens, so wie 1803 bei der oben erwähnten thüringischen Gradmessung beschäftigt gewesen war, eine große Vermessung am Rheine vorgenommen, welche als Endresultat die Länge des Quadranten zu 5131253,95 T. und die Abplattung zu $\frac{1}{315,8}$ ergab [186]. Durch diese Messung Müfflings, welche sich nach einem Aufsatze des „Auslandes“ [187]) über Hessen, Thüringen, Brandenburg bis Schlesien erstreckte, wurden die schon verbundenen französischen und englischen Messungen nicht nur mit den später zu erwähnenden hannöverschen und dänischen, sondern auch mit den bairischen [188]) und den oben erwähnten österreichischen in Verbindung gesetzt. Dieselben wurden später durch General Wilhelm Krauseneck, der schon gegen das Ende des vorigen Jahrhunderts mit topographischen Vermessungen im südlichen Preußen beschäftigt gewesen war, durch Posen und Westpreußen bis ans frische Haff weiter geführt.

schottische, Um die in England noch streitigen astronomischen Beobachtungen durch Gradmessungen zu berichtigen, begab sich im Jahre 1817 Biot nach den Orkneyinseln am Nordende von Schottland [189]), so daß nun im Ganzen ein zusammenhängender Meridianbogen von mehr als 22° oder 330 Meilen von Formentera bis zur Insel Unst, der nördlichsten der Shetlandsinseln, genau gemessen vorlag.

dänische, Im Jahre 1817 wurde auch von dem durch seine „astronomischen Nachrichten“ bekannten dänischen Astronomen Heinrich Christian Schumacher mit einem Reichenbach'schen Reflexionskreise eine Gradmessung von der südlichsten Grenze Lauenburgs durch Holstein und Jütland bis Skagen ausgeführt, welche sich an eine auf der von den Franzosen erbauten hölzernen Brücke zwischen Hamburg und Harburg gemessene Basis lehnte, sich über einen Bogen von 1° 31′ 53,3″ erstreckte, und für die m. g. Br. von 54° 8′ 13,7″ die Länge des Grades zu 57093,1 Toisen ergab.

Berechnung Walbecks, In diese Zeit fällt die erste genaue Vergleichung einer großen Zahl von Gradmessungen (der französischen, der peruanischen, der englischen, der neuen lappländischen, der beiden ostindischen), welche im Jahre 1819 mit vielem Glück von Henrik Joh. Walbeck [181]) unternommen wurde, der den mittleren Werth für den Meridiangrad zu 57009,758 Toisen und die Abplattung zu $\frac{1}{302,781}$ berechnete.

hannöv. Gradm., Auch der genialste Mathematiker unsres Jahrhunderts, Karl Friedr. Gauß, blieb dieser Frage nicht fremd. In den astr. Nachrichten v. Jahre 1823 berichtet er über eine unter seiner Leitung unternommene Gradmessung in Hannover, welche einen Bogen von 2° 0, 57,4″ umfaßte und für die m. g. Br. von 52° 32′ 16,6″ die Länge des Grades zu 57126,4 T. ergab, und bei welcher Gauß seinen sinnreichen Vorschlag, das Heliotrop anzuwenden, zur Ausführung brachte. Mit dieser Gradmessung im Zusammenhange steht auch Gaußens Schrift „Bestimmung des Breitenunterschiedes zwischen den Sternwarten von Göttingen u. Altona rc. Göttingen, 1828", in welcher u. a. darauf aufmerksam gemacht wird, daß die astr. Beobachtungen den Breitenunterschied zwischen dem Brocken und der Sternwarte von Göttingen 10—11" größer geben, als die geodätischen, während dieselben den Breitenunterschied zwischen Göttingen und Altona 5,52" kleiner ergeben haben, als er nach der mittlern Abplattung sein sollte.

In Rußland war es der berühmte Astronom Friedr. Georg Wilh. v. Struve, Prof. an der Universität zu Dorpat, welcher bei einer Triangulirung von Lievland, die er auf Bitten der landwirthschaftlichen Gesellschaft dieser Provinz in den Jahren 1816—19 ausführte [190]), auf den Gedanken kam, einen Meridianbogen zu messen. Vorläufige Terrainstudien überzeugten ihn, daß es möglich sein werde, den Meridian von Dorpat von der Insel Hochland im finnischen Meerbusen (60° 5′ Br.) bis Jacobsstadt in Kurland, (56° 30′ Br.) am südlichen Ufer des Dünaflusses, zu messen, welche Arbeit auch nach den nöthigen Vorarbeiten in den Jahren 1821—31 unter seiner Leitung ausgeführt wurde [191]). Die Basis wurde bei der Kirche St. Simonis in Esthland gemessen. Die Horizontaldistanz der Endpunkte betrug 2315,1730 Toisen oder, auf die Meeresfläche reducirt, 2315,1338 Toisen. Eine freilich sehr kurze Basis. Bei der Genauigkeit der Winkelmessung schien es jedoch vortheilhaft, von einer kürzeren, sehr sorgfältig gemessenen Basis durch zweckmäßig gewählte Dreiecke zu einer größeren Seite aufzusteigen. Dreiecke mit Seiten von 10000 Toisen hält v. Struve für die vortheilhaftesten. Während des Sommers 1828 stellte v. Struve auf der Dorpater Sternwarte eine Vergleichung der gebrauchten Meßstangen mit der als Normalmaaß dienenden Toise von Fortin und die Untersuchungen über die Ausdehnung dieser Stangen durch die Temperatur an, so wie auch die endliche Berechnung der Gradmessung mittelst Beihilfe Pauckers und Wrangels. In den nachstehenden Resultaten bezeichnet D das Centrum des Thurmes der Sternwarte zu Dorpat, wo jetzt der große Refractor von Fraunhofer aufgestellt ist, auf welchen Punkt auch die astronomischen Beobachtungen bezogen sind, J den südlichen Endpunkt der Gradmessung bei Jacobsstadt, und H den Standpunkt des Passageinstruments auf Hochland.

Distanz der Parallelkreise	Breitenunterschiede	mittl. g. Br.	Länge des Grades
von J u. D 107281,648 Toisen	1° 52′ 42,775″	57° 26′ 26,028″	57108,809 Toisen
„ D u. H 97538,497 „	1° 42′ 22,488″	59° 13′ 58,660″	57165,530 „
„ J u. H 204820,145 „	3° 35′ 5,223″	58° 17′ 37,273″	57135,800 „

Berechnet man nach Walbeck die wahrscheinlichsten Dimensionen des Erdellipsoids für diese Breiten, so erhält man statt der Zahlen der letzten Colonne die folgenden: 57128,574 T., 57144,354 T., 57136,078 T. Aus diesen Zahlen ergiebt sich das merkwürdige Resultat, daß der aus dem ganzen Bogen gefolgerte Werth eines Grades fast ganz genau in die Walbecksche Ellipse paßt (er ist nur um 0,278 T. zu klein), während die beiden Theilbogen nicht unbedeutend abweichende Resultate gewähren (der südliche ist um 19,765 T. zu klein, der nördliche um 21,176 T. zu groß). Die Ursache liegt darin, daß sich für Dorpat eine relative Ablenkung des Lothes in Beziehung auf Hochland und Jacobsstadt zeigt, während die Vertikalen dieser beiden Punkte grade so gegen einander geneigt sind, wie der Abstand dieser Parallelkreise es fordert. Diese Ablenkung beträgt 2,308". Um so viel müßte die geogr. Br. v. Dorpat, also der südliche Bogen vergrößert, der nördliche verkleinert werden, um Alles in Uebereinstimmung zu bringen. Diese

russische,

Abweichung ist um so wunderbarer, als Lievland zu den flachsten Ländern in Europa gehört, und ein Beleg für die Behauptung, daß nicht blos die sichtbaren Unebenheiten der Oberfläche, sondern auch die ungleiche Vertheilung der Massen im Innern der Erde auf die Stellung des Lothes gegen die Erdoberfläche Einfluß hat.

Für die Fortsetzung dieser Gradmessung nach Norden bewilligte Kaiser Nicolaus auf 10 Jahre (1830—39) jährlich 10000 Rubel und übertrug v. Struve die Leitung der Arbeiten. Die Sommer der Jahre 1830 u. 31 wurden zur Aufsuchung der Dreieckspunkte zwischen Tornea und Hochland verwendet[192]) welche Punkte 75 Dreiecke bilden. Im Sommer 1832 waren die Generalstabsoffiziere Oberg und Melan mit der Winkelmessung mittelst des Reichenbach-Ertelschen Universalinstruments beschäftigt. Der Astronom Woldstedt setzte diese Arbeiten bis Tornea fort.

Von Struve behielt sich vor, die Resultate der russischen Gradmessung zur Bestimmung der wahrscheinlichsten Figur der Erde umstimmen zu lassen, erwähnte aber vorläufig, daß durch Zuziehung derselben die Abplattung der Erde werde wahrscheinlich wieder etwas vergrößert werden.

Da die Dreiecke des schon 1816 triangulirten Gouvernements Wilna bis ganz nahe an Jacobsstadt gehen, kam der Chef dieser Triangulirung, General Tenner, auf die Idee, sie mit der v. Struve's zu verbinden und zu einer südlichen Verlängerung des v. Struve'schen Meridianbogens zu verwenden, und da Tenner in der Folge u. a. auch die Triangulirungen der Gouvernements Grodno (1825), Wolhynien (1836) u. Bessarabien (1847) zu besorgen hatte, deren Dreiecke sich in ihrer Hauptmasse von Norden nach Süden erstrecken, so verlängerte er den Meridianbogen bis Staro-Nekrasowka (45° 20′ Br.) in der Nähe von Ismail an der Donaumündung.

Gleichzeitig setzten schwedische und norwegische Astronomen den Bogen im Norden bis Fuglenäs (70° 40′ Br.) fort, wodurch man im Ganzen den ungeheuren Bogen von 25° 20′ oder 380 Meilen erhielt[193]).

ostpreußische, Um die im Süden und Westen Europa's ausgeführten Gradmessungen mit den im Norden und Osten ausgeführten in directe Verbindung zu bringen, damit man durch zusammenhängende die vornehmsten europäischen Sternwarten berührende Dreiecksketten von Formentera bis Finnland gelangen könne, unternahm der berühmte Königsberger Astronom Frdr. Wilhelm Bessel in Gemeinschaft mit dem General Joh. Jac. von Baeyer vom preußischen großen Generalstabe zu Berlin eine Gradmessung in der Prov. Ostpreußen[194]). Bessel entwarf den Plan der ganzen Messung, wählte und prüfte die Instrumente, insb. die Maaßstäbe, sehr sorgfältig, leitete die Messung der Basis in der Nähe von Königsberg und ordnete später auch die Berechnung an, während die Messung der einzelnen Dreiecke größtentheils von Baeyer und seinen Gehilfen besorgt wurde.

Der gemessene Bogen erstreckte sich von Memel bis Trunz in einer Länge von nur 1° 30′ 29″, und ergab für die mittl. g. Br. von 54° 58′ 26″ die Länge des Grades zu 57145,2 Toisen.

Was dieser Messung an Länge abging, ersetzte sie durch die vorzügliche Genauigkeit ihrer Ausführung, durch welche sie vielleicht alle andern Gradmessungen übertrifft. Diese Genauigkeit ging so weit, daß bei der spätern Verbindung der preußischen und russischen Dreieckskette bei Thorn sich nur eine Differenz von $\frac{1}{182000}$ der Länge oder von noch nicht 2 Zoll auf die Meile herausgestellt hat. Diese Genauigkeit ermöglichte es auch, selbst auf dieser verhältnißmäßig so kurzen Strecke locale Abweichungen von der vorausgesetzten Gestalt des Erdsphäroids unverkennbar nachzuweisen, so daß Bessel zu dem Ausspruche veranlaßt wurde „die wirkliche Figur der Erde verhält sich zu einer regelmäßigen, wie sich die unebene Oberfläche des bewegten Wassers zur ebenen Oberfläche eines ruhigen verhält [195])". Indeß besitzen die einzelnen Ungleichheiten nur geringe, vielleicht einige Meilen nicht überschreitende Ausdehnung.

An diese Messungen schloß Bessel eine genaue Bestimmung des preußischen Längenmaaßes [196]) und gab die Mittel an, durch welche das auf dem Handelsministerium zu Berlin befindliche Normalmaaß eines preußischen Fußes (139,13 par. Linien bei + 13° Temperatur) leicht und genau copirt und dadurch verkäuflich gemacht werden kann. Die Einrichtung gehört nach Enke's Zeugniß [197]) vielleicht zu den vollkommensten ihrer Art und ist von Emsmann im Osterprogr. d. Friedrich-Wilhelms-Schule zu Stettin vom Jahre 1863 [198]) ausführlich beschrieben. Das französische Metermaaß einzuführen widerrieth Bessel, da es vor andern Maaßeinheiten als sogenanntes Naturmaaß keinen Vorzug besitze, indem zwar im Allgemeinen der Erdkörper der nämliche bleibe, aber die Bestimmung seines Umfanges von Beobachtungs- und Berechnungsmethoden abhänge, die mit der Zeit neue Verbesserungen erfahren dürften. So fand Bessel im Jahre 1837, daß, wenn man dem Meter seine ursprüngliche durch die französische Gradmessung eingeführte Länge lasse, der Erdquadrant nicht 10000000 sondern 10000855,76 Meter betrage, oder wenn man das früher festgestellte einfache Verhältniß 1 : 10000000 zwischen Meter und Erdquadranten beibehalten wolle, der französische Meter um 0,038 par. Linien verlängert werden müßte [199]).

Bessel, der nichts unvollendet ließ, und die Folgerungen aus seinen Bestimmungen stets so weit ausdehnte, als die strenge mathematische Consequenz es gestattete, berechnete die Dimensionen des Erdsphäroids aus seiner preußischen, so wie aus den neun genauesten außerpreußischen Gradmessungen (der peruanischen, der neueren lappländischen, der französischen, englischen, hannöverschen, dänischen, russischen und zwei ostindischen, nämlich der oben erwähnten von Lambton und einer von Everest im Jahre 1830 unternommenen, welche die Lambton'sche bis zu 24° 7' Br. ausdehnte; [200]) mehrere andere, wie die am Cap, in Oesterreich, in Nordamerika u. s. w. wurden ausgeschlossen, da sie den angeführten an Genauigkeit nachstanden). Schon vorher hatte Eduard Schmidt, durch eine ehrenvolle Aufforderung von Gauß angeregt, [201]) die oben besprochene Arbeit von Walbeck revidirt und verbessert, indem er sowohl die höheren Potenzen der Applattung, als die inzwischen beobachteten Polhöhen berücksichtigte auch die hannöversche Gradmessung, so wie die von Biot und Arago verlängerte französiche hinzufügte. Sein Endresultat ergab den mittleren Meridiangrad zu 57008,655 T. und die Abplattung zu $\frac{1}{297,479}$. Bald darauf (1830) hatte der englische Astronom Airy [202]) denselben Gegenstand behandelt und die halbe Polarachse = 3261163,7 T., die halbe Aequatorialachse = 3272095,2 T., den Meridianquadranten = 5131208,0 T., die Abplattung = $\frac{1}{298,33}$ gefunden. Bessel fand die halbe Polarachse = 3261072,900 T., die halbe Aequatorialachse = 3271953,854 T., die Länge des mittleren Meridiangrades = 57011,453 T. [203]) Berechnung Bessels,

Die Rechnung war bereits abgeschlossen und publicirt, als Bessel erfuhr, daß Puissant in der Berechnungsart, welche im Jahre 1808 in der Commission des Institut national de France angewendet worden war, um die Entfernung der Parallelen von Montjouy bei Barcelona u. Mola auf Formentera zu bestimmen, einen Fehler von 68 Toisen aufgefunden habe. Bessel scheute die Mühe nicht, nach Berichtigung dieses Fehlers seine ganze mühsame Rechnung von vorn zu beginnen, und in der That erhielt er jetzt Resultate, die von den früheren nicht unmerklich verschieden waren, nämlich die halbe Polarachse = 3261139,33 T., die halbe Aequatorialachse = 3272077,14 T., die Länge des Erdquadranten = 5131179,109 T., die Länge des mittleren Meridiangrades

$= 57013,109$ T., die Abplattung $= \frac{1}{299,1528}$, welche Zahlen noch jetzt in den gebräuchlichen Logarithmentafeln im Verzeichniß der Constanten aufgeführt sind. Zugleich hat sich ergeben, daß die Sicherheit dieser Bestimmung bis auf $\frac{1}{20000}$ geht, oder daß, wenn man die Operation wiederholt, man keinen Werth finden wird, der um mehr als etwa 1000 Fuß von diesen Zahlen abweicht. Die Länge des hiesigen Gymnasialgebäudes beträgt $167^1/_4{}'$. Man kann also sagen, die Größe der Erde sei so genau bekannt, daß die Bestimmung ihres Halbmessers nicht um die 6fache Länge dieses Gebäudes von der Wahrheit verschieden ist.[204])

euere Gradm.

Zu den von Bessel benutzten genauen Gradmessungen sind in neuerer Zeit noch hinzugekommen: die oben schon erwähnte Fortsetzung der russischen Gradmessung im Süden bis Ismail, im Norden bis Fuglenäs, eine Messung im Norden von Ostindien von Everest[205]) und die neuere englische Gradmessung, bei der auch die localen Anziehungen der benachbarten Berge berücksichtigt sind, so wie einige andere erst z. Th. ausgeführte oder noch nicht veröffentlichte Gradmessungen. Beabsichtigt ist eine weitere Fortsetzung des russischen Bogens von Ismail durch die Türkei bis Candia, die wahrscheinlich von Frankreich ausgeführt werden wird.[206])

itteleuropäische Gradmessung.

Zum Schluß sei noch des großartigen Unternehmens der sogenannten mitteleuropäischen Gradmessung gedacht, welche in Folge einer im Jahre 1861 veröffentlichten Schrift des damaligen Chefs der preußischen Vermessung, des General Dr. Baeyer, des oben schon erwähnten Gefährten Bessels, „über die Größe und Figur der Erde“ durch die preußische Regierung ins Leben gerufen wurde, und den Zweck hat, das durch die vereinzelten in Deutschland und den umliegenden Ländern bisher unternommenen Gradmessungen aufgehäufte Material zu prüfen, zu sichten, und wo es nöthig scheint, zu verificiren, unbrauchbare*) Triangulationen durch neue zu ersetzen, vorhandene Lücken in den Dreiecksnetzen auszufüllen, die Maaßeinheiten festzustellen,**) die einzelnen Dreiecksketten mit einander zu verbinden, die gefundenen Unterschiede auszugleichen und dadurch alle bisher vereinzelten europäischen Gradmessungen zu einem einheitlichen Ganzen zu vereinigen.

betheiligte Staaten.

Nach einem Berichte Baeyers, dem von der preußischen Regierung die Leitung des Unternehmens aufgetragen wurde, vom Ende des Jahres 1862[207]) waren damals bereits folgende Staaten der Zeit ihrer abgegebenen Erklärung nach in folgender Ordnung dem Unternehmen beigetreten: Frankreich, welches zwar die directe Theilnahme ablehnte, weil nur ein kleiner Theil seines Gebietes von dem Projecte berührt wird, aber die Benutzung der vorhandenen Materialien gestattete und den General Blondel, Director des Kriegsdepots, autorisirte, dieserhalb mit Baeyer in directe Verbindung zu treten; Dänemark, welches den Geh. Etatsrath Andrä zu Copenhagen, Director der dänischen Gradmessung, zum Commissarius ernannte; Sachsen-

*) Als brauchbar für die Zwecke der mitteleurop. Gradmessung beschloß die 1864 in Berlin zusammentretende Conferenz nur solche Messungen zu betrachten, deren wahrscheinlicher Fehler eine Bogensecunde oder $\frac{1}{25000}$ der Länge nicht übersteigt; ja die Astronomen hofften bei den Längenunterschieden den wahrscheinlichen Fehler bestenfalls auf $\frac{1}{50}$ Zeitsecunde oder wenigstens bis auf $\frac{1}{20}$ Zeitsecunde und bei den Zenithdistanzen bis auf $\frac{3}{10}$ Bogensecunden herabzubringen.

**) Die Berliner Conferenz v. J. 1864 beschloß, in den Rechnungen die von Fortin gefertigte, von Arago und Zahrtmann mit der Originaltoise von Peru genau verglichene und von Bessel bei seinen Messungen benutzte Toise als Einheit anzuwenden und sämmtliche bei den concurrirenden Triangulirungen der mitteleuropäischen Gradmessung angewendeten Maaßstäbe mit der Bessel'schen T. zu vergleichen.

Gotha, welches den Direktor der Sternwarte in Gotha, Dr. Hansen*) z. C. ern.; die Niederlande, welche den Director der Sternwarte in Leyden, Dr. Kaiser, beauftragten, sich in Bezug auf die auszuführenden Arbeiten mit Baeyer in Verbindung zu setzen; Polen, für welches der Kaiser von Rußland den Generallieutenant von Blaremberg, Director des Kriegsdepots zu Petersburg, z. C. ern.; die Schweiz, welche den Director der Sternwarte in Neuenburg, Dr. Hirsch, z. C. ern.; Baden, welches den Director derSternwarte in Mannheim, Dr. Schönfeldt, z. C. ern.; das Königreich Sachsen, welches den Dir. der Sternw. und Prof. der Astr. in Leipzig, Dr. Bruhns, dem später noch Nagel in Dresden und Weisbach in Freiberg beigegeben wurden, z. C. ern.; Italien, welches den Chef des Bureau de l'Etat-Major, Major-General Ricci, und die Astronomen Plana, Carlini (seitdem gestorben und durch Vecchi ersetzt), Schiaparelli, Donati und de Gasparis z. C. ern.; Oesterreich, welches den Dir. des milit. geogr. Instituts, General von Fligely, den Oberstlieutenant v. Garnahl, den Director der Wiener Sternwarte, Prof. Dr. v. Littrow, und den Prof. Dr. Herr in Wien z. C. ern.; Skandinavien, welches den Secr. d. Acad. d. Wissenschaften zu Stockholm, Prof. Dr. Lindhagen, den Feldzeugmeister Baron v. Wrede, den Astronomen Prof. Dr. Selander und den Dir. der Sternwarte zu Christiania und der Landesvermessung v. Norwegen, Prof. Dr. Hansteen, der zugleich eine sehr wichtige Erweiterung der Gradmessung nördlich bis Drontheim vorgeschlagen hatte, u. dessen Stelle später Prof. Dr. Fearuley in Christiania einnahm z. C. er.; Baiern, welches den Dir. der Steuer-Kataster-Commission v. Reben z. C. e., an dessen Stelle von 1865 an Lamont, noch später der Baurath, Akademiker und Professor Dr. Bauernfeind und Prof. Dr. Seidel traten; Mecklenburg, welches den Dir. der Landesvermessung, Hofrath Paschen z. C. e.; Hannover, welches den Prof. Dr. Riemann in Göttingen, (später durch Prof. Dr. Schering ersetzt), den Prof. Dr. Wittstein in Hannover u. d. Hauptmann Gumprecht vom Generalstabe z. C. e.; Belgien, welches alle Materialien seines Kriegsdepots zur Disposition stellte und den Oberst Diedenhofen mit einer Triangulation beauftragte, für welchen später General Simons als C. eintrat.

Nachdem somit durch eine genügende Anzahl von Beitrittserklärungen die Ausführung des Unternehmens einigermaßen gesichert erschien, wurde die Erweiterung und größtmögliche Vervollständigung desselben ins Auge gefaßt. Demzufolge wurden auch noch die Regierungen von Würtemberg, Kurhessen und Darmstadt zum Beitritt eingeladen und folgten auch schon im folgenden Jahre dieser Einladung. Würtemberg ernannte den Prof. Zech, an dessen Stelle nach seinem Tode Prof. Dr. Bauer in Stuttgart trat, Darmstadt den Dir. Dr. Hügel z. C., während wir als Vertreter Cassels den Prof. Dr. Börsch erwähnt finden. Eben so erklärte sich die Regierung der Donaufürstenthümer bereit, die auf ihrem Gebiete erforderlichen Arbeiten zu gestatten und zu fördern.

Um nun die Dreieckskketten der verschiedenen Staaten mit einander verbinden und die gefundenen Unterschiede ausgleichen zu können, sollten die Commissarien der einzelnen Staaten sich von Zeit zu Zeit zu kleineren oder größeren Conferenzen vereinigen, ähnlich derjenigen, welche schon v. 24.—26. April 1862 zwischen den Bevollmächtigten Preußens, Oesterreichs und Sachsens abgehalten worden war. Die Protokolle dieser Specialconferenzen sollten lithographirt und den Commissarien sämmtlicher Staaten mitgetheilt werden. Conferenzen,

*) Eine Biographie mit Porträt dieses berühmten Astronomen, der, ohne höhere Schulbildung genossen zu haben, seine Laufbahn als Uhrmacher begann, brachte die Leipziger ill. Zeitung v. 2. Nov. 1867.

1. allgem. Conf., Die erste allgemeine Conferenz fand, wie schon erwähnt, v. 15.—22. Oct. 1864 zu Berlin statt. Auf derselben wurde zur Leitung des ganzen Unternehmens die Bildung einer permanenten Commission beschlossen, welche unter dem Vorsitze v. Hansen aus den Herren Baeyer, Fligely, Schiaparelli, Bruhns, Lindhagen und Hirsch bestand und sich alljährlich wenigstens einmal versammeln sollte. Solche Conferenzen dieser perm. Comm. wurden am 3. u. 4. Sept. 1865 in Leipzig, v. 6.—10. Apr. 1866 in Neuenburg (wo sich sogar ein Abgeordneter der spanischen Regierung, der Ingenieurobrist Don Carlos Ibannis, einfand), v. 25.—30. April 1867 in Wien abgehalten, und für 1868 ist Florenz oder Rom in Aussicht genommen.

Centralbureau, Um ferner den einzelnen theilnehmenden Staatsregierungen von Zeit zu Zeit über den Fortgang der Messung Bericht erstatten zu können, das Zusammenwirken der bedeutenden wissenschaftlichen Kräfte, die sich zur Ausführung des Unternehmens verbunden haben, zu erleichtern, und in größtmöglicher Ausdehnung nutzbar zu machen, wurde in der Berliner Conferenz die Bildung eines Centralbureau als ausführenden Organes der permanenten Commission für nothwendig erkannt, und da Baeyer der Conferenz die Mittheilung machen konnte, daß ihm bereits von der preußischen Regierung die Mittel zur Bildung eines solchen Centralbureau zugesichert worden seien, so übertrug ihm die Conferenz die Einrichtung desselben, welche durch Cabinetsordre vom 30. Aug. 1865 genehmigt wurde. Zu diesem Bureau gehören außer Baeyer u. A. auch der Director der Berliner Sternwarte, Prof. Dr. Förster, der durch seine Logarithmentafeln bekannte Plankammerinspector Dr. Bremiker, so wie unser durch seine schlesischen Triangulationen bekannte Landsmann, Prof. Dr. Sadebeck. Die Kosten für dieses Centralbureau berechneten sich für neue Instrumente zu 2800 Thlr., für laufende Ausgaben incl. der auszuführenden Arbeiten jährlich zu 11480 Thlr. Die fernere Dauer des Unternehmens wurde dabei auf 5—6 Jahre veranschlagt, was jedoch wohl nur als Minimum anzusehen ist, indem diese Gradmessung ihrer Natur nach einer unbegrenzten Erweiterung und Vervollständigung fähig ist.

An dieses Centralbureau reichen nun die Bevollmächtigten der einzelnen Staaten jährliche Berichte ein, welche die Resultate ihrer Thätigkeit, ihre Wünsche und Vorschläge enthalten. Aus diesen Specialberichten wird im Centralb. ein Generalbericht zusammengestellt, durch den Druck vervielfältigt und den einzelnen Staaten mitgetheilt. Auf diese Weise wird das Material für die größeren allgemeinen Conferenzen gesammelt.

2. allgem. Conf., Von der ersten allgemeinen Conferenz ist bereits die Rede gewesen. Die zweite fand vom 30. Sept.—7. Oct. 1867 im Locale des Abgeordnetenhauses zu Berlin unter dem Vorsitze Baeyers statt. Außer den vorher schon erwähnten Commissarien erschienen auf dieser Conferenz noch Struve und General v. Forsch als Vertreter Rußlands, so wie der Dir. der Sternwarte zu Altona, Dr. Peters. Außerdem wohnten der Versammlung noch bei: der Cultusminister Dr. v. Mühler, der die Versammelten im Namen der preuß. Regierung mit warmen Worten begrüßte, und ihren Bestrebungen und Leistungen die volle Anerkennung der Regierung aussprach, die Geheimräthe Prof. Dr. Dove und Dr. Brix, die Generäle v. Brandt u. v. Hesse, der Obristlieutenant v. Sydow, Obrist v. Chauvin, Obrist v. Morozowicz, Oberbaudirector Hagen, Prof. Dr. Sadebeck und Dr. Anwers, sämmtlich in Berlin, wirkl. Staatsrath v. Kämptz aus Petersburg und Prof. Dr. Sartorius v. Waltershausen aus Göttingen.

Die Conferenz vertheilte ihre Arbeiten auf 7 Commissionen.

Die Aufgabe der ersten C. betraf die Aufstellung von Vorschriften für Breiten-, Längen- und Azimuthbestimmungen und die Bestimmung der bei den Beobachtungen benutzten Fixsterne. Sie empfahl solche genaue Bestimmungen an möglichst vielen Punkten der

Erde und schlug vor, die Breitenbestimmungen durch Zenithdistanzen und durch Beobachtungen von Fixsternen mit einem Passageinstrumente, nahe dem Zenith, im Ost- und Westverticale, auszuführen, die Längenbestimmungen auf telegraphischem Wege zu machen und die Beleuchtung und Aufstellung der Instrumente, welche zu der dabei erforderlichen Zeitbestimmung gebraucht werden, durch besondere Vorsichtsmaaßregeln zu prüfen; auch empfahl sie die absolute Bestimmung der sogenannten persönlichen Gleichung, welche davon herrührt, daß verschiedene Beobachter das Antreten der durch das Passageinstrument gehenden Sterne an die Fäden nicht in einem und demselben Zeitmomente auffassen. Zu diesem Zwecke sollten die von den einzelnen Beobachtern benutzten Sterne neu bestimmt werden, womit die Sternwarten Leyden, Leipzig, Neuenburg und Pulkowa bereits beschäftigt sind.

Die zweite C. hatte die Beantwortung der Fragen über Intensitätsbestimmungen der Schwere, so wie über systematische Untersuchungen von Hauptdreieckspunkten auf Localabweichungen übernommen. Sie kam zu dem Resultate, daß Messungen von Pendellängen an vielen astronomisch zu bestimmenden Punkten sehr wünschenswerth seien und empfiehlt dazu den schon mehrfach erprobten Pendelapparat von Repsold.

Die dritte C. hatte über Vergleichung der Maaßeinheiten und Veränderlichkeit der Maaßstäbe, so wie über Messung neuer und Nachmessung schon vorhandener Grundlinien zu berichten. Auf ihren Vorschlag beschloß die Conferenz, daß das Centralbureau zwei Comparatoren zur genauen Vergleichung aller bei der Gradmessung in Betracht kommenden Maaßstäbe anschaffe, so wie die Einleitung zur Anfertigung eines neuen Basisapparates treffe, der zum gemeinschaftlichen Gebrauch dienen solle. Dieselbe Commission erklärte es im Interesse der Wissenschaft und ins Besondre der Geodäsie für wünschenswerth, daß in ganz Europa ein und dasselbe Maaß- und Gewichtssystem mit Decimaltheilung angenommen werde. Sie empfahl das metrische System als dasjenige, welches augenblicklich die größte Wahrscheinlichkeit der Annahme für sich habe, und zwar das reine metrische System, nicht den metrischen Fuß, wünschte die Herstellung eines neuen Urmeters, welcher sich möglichst wenig vom mètre des archives unterscheide, und die Gründung eines europäisch internationalen Instituts für Maaßvergleichung, und beauftragte die permanente Commission mit der Wahl mehrerer Commissionen zur Feststellung der Principien bei der Construction der Apparate und Herstellung des Urmaaßes.

Die vierte C. übernahm die Frage über Fehlervertheilung bei den Anschlußseiten der Dreiecksketten, so wie die Berechnung der Coordinaten der astronomisch bestimmten Punkte zur Bildung eines astronomisch geodätischen Netzes; sie empfahl Näherungsmethoden für die Anschlüsse bei geringen Differenzen und überließ die Wahl der Methode bei Berechnung der Coordinaten astronomisch bestimmter Punkte der permanenten Commission.

Die fünfte C. beschäftigte sich mit der Frage über Höhenbestimmungen und Feststellung eines allgemeinen Nullpunktes der absoluten Höhen; sie empfahl Höhenbestimmungen durch geometrische Nivellements und zur Controle mehrfache Niv., oder Niv. in Linien, die sich öfter kreuzen.*) Die Commission empfahl, für jedes Land einen solid versicherten Nullpunkt zu wählen, von dem aus geologischen oder andern Gründen Hebungen oder Senkungen nicht zu erwarten sind, und sprach den dringenden Wunsch aus, daß an Meeresküsten die mittlere Höhe des Meeres durch besondere Apparate festgestellt werde.

*) Die Genauigkeit dieser Nivellements ist so groß, daß der Fehler der Höhendifferenz zweier um 100 Kilometer (14 Meilen) von einander entfernten Punkte noch nicht 30 Millimeter (etwa 1 Zoll) beträgt.

Die Aufgabe der sechsten C. war die Vervollständigung der Dreieckskarten der mitteleuropäischen Gradm.; sie beantragte, daß das Centralbureau, sobald die Arbeiten weiter fortgeschritten sein würden, eine Karte mit allen Triangulationen und astronomischen Bestimmungen in großem Maaßstabe herstelle, vor der Hand aber die durch v. Fligely bereits zur Verfügung gestellten durch Blätter, welche die neu hinzutretenden Staaten umfassen, ergänze, und eine kleine Uebersichtskarte von Europa anfertigen lasse.

Der siebenten C. wurde die Discussion allgemeiner Grundsätze, nach denen die neuen Messungen auszuführen sind, übertragen. Als solche Grundsätze stellte sie auf, daß jeder Punkt eines Hauptdreiecksnetzes nicht nur so oft als nöthig, sondern wenigstens einmal mehr eingeschnitten werde, daß wenn die Dreiecksketten aus einfach an einander gereihten Dreiecken bestehen, die Winkel nicht unter 30° betragen, und daß jeder Dreieckspunkt nicht allein über der Erde, sondern auch unterirdisch in geringer Entfernung versichert werde.

In die permanente C. traten außer den oben genannten Mitgliedern noch die Herren Kaiser, Forsch und Ricci, Letzterer an Schiaparelli's Stelle.

Mit Rücksicht darauf, daß nun auch Rußland, Spanien und Portugal der mitteleuropäischen Gradm. beigetreten waren, wurde beschlossen, dieselbe nunmehr europäische Gradm. zu nennen [208]).

So hat Preußen auch auf diesem Gebiete, auf dem es vor der großen, alle früheren Leistungen zusammenfassenden Arbeit Bessels kaum etwas Nennenswerthes geleistet hatte, sich als wirkliche Großmacht bewiesen, welche sehr wohl befähigt ist, auch bei großen kosmischen Unternehmungen sich leitend an die Spitze zu stellen. Die Früchte dieses großartigen Unternehmens können natürlich erst im Laufe der Jahre reifen; gleichwohl ist es jetzt schon sehr erfreulich zu sehen, wie trotz aller politischen Reibungen das Interesse für dieses Werk des Friedens in allen betheiligten Staaten nicht nur stets rege geblieben, sondern sogar im Zunehmen begriffen ist.

Mit dem Vorstehenden ist jedoch die Aufzählung dessen, was bisher für die Bestimmung der Größe und Gestalt der Erde geschehen ist, erst zum kleinsten Theile beendet; denn noch ist ganz unerwähnt geblieben, in welcher Weise auch Längengrade für diesen Zweck gemessen und benutzt worden sind, auf welche Weise das Pendel im Dienste derartiger Messungen verwendet worden ist, wie man es ermöglicht hat, aus den Ungleichheiten der Mondbahn auf die Figur der Erde zu schließen, wie man die Abplattung der Erde aus der Rotation erklärt. Daran würde sich sodann die Auseinandersetzung der Art und Weise anzuschließen haben, auf welche es gelungen ist, die gemessene Erde auch zu wiegen, und an diese Betrachtung der Größe, Gestalt und Masse der Erde würde sich dann schließlich die Bestimmung der Entfernung, Größe und Masse der verschiedenen Himmelskörper anreihen müssen, um den Kreis derjenigen Betrachtungen abzuschließen, welche sich unter dem Namen der kosmischen Messungen zusammenfassen lassen.

Diese Ausführung muß jedoch einer andern Gelegenheit vorbehalten bleiben.

Anmerkungen.

[1]) Forbiger, Handbuch der alten Geogr. I, S. 5, A. 9. [2]) Pauly, Realencyklopädie der klassischen Alterthumswissenschaft, zweite Aufl., Bd. 1, Seite 1925, wo Plut. 'plac. phil III, 10 als Quelle angeführt ist.
[3]) Cantor, Mathematische Beiträge zum Culturleben der Völker, S. 72.
[4]) Röth, Geschichte unserer abendländischen Philosophie, II, 106—130.
[5]) Nach Zeller Philosophie der Griechen, 2. Auflage, I. S. 147, macht ihn diese Annahme wahrscheinlich zu jung. [6]) Kosmos IV, 161. [7]) Kosmos II, 140; IV, 160.
[8]) Plut. plac. phil. III, 10, während nach Diog. Laert. II, 1 Anaximander die Erde für kugelförmig hält (Pauly, a. a. O. I, 1925). [9]) Diog. Laert. II, 1, 3.
[10]) Forbiger I, 44, Anm. 66, wo erst dem Krates von Mallos im 2. Jahrh. v. C. diese Erfindung zugeschrieben wird.
[11]) Näheres über seine Lebenszeit siehe Zeller a. a. O. I, 379.
[12]) Arist. de coelo II, 13, Plut. plac. phil. III, 10. [13]) Forbiger I, 48—50. [14]) Forbiger I, 63.
[15]) Forbiger I, 69.
[16]) Humbold, Kosmos IV, 160, wogegen Prantl (Aristoteles Werke, griechisch und deutsch, 2. Bd., S. 315, Anm. 49) nachzuweisen versucht, daß grade die bewohnte Fläche nicht krumm gedacht worden sein könne.
[17]) Näheres über seine Lebenszeit siehe: Zeller, I, 577.
[18]) Bode, Erläuterungen zur Sternkunde I, 201; Humb., Kosmos IV, 160. [19]) Forbiger, I, 538.
[20]) Zeller, P. d. G. I, 217, Anm. [21]) a. a. O. I, 46. [22]) Humb., Kritische Untersuchungen, I, 53.
[23]) Zeller I, 663 u. 664. [24]) Forbiger, I, 46.
[25]) Mathem. Geographie, 4. Aufl. Seite 11. [26]) p. 55, D.
[27]) In Wirklichkeit ist nicht der Würfel, sondern das reguläre Tetraeder der stabilste der 5 regulären Körper.
Aufgabe. Wie groß ist für jeden der 5 regulären Körper der Winkel, um welchen er um eine Kante gedreht werden muß, damit er nicht wieder in die frühere Gleichgewichtslage zurückkehre? und wie lassen sich demnach die regulären Körper nach dem Grade ihrer Stabilität ordnen?
[28]) Phaed. 97; 108, E; 109, A. u. B; 112, E; Politia, X, p. 608—21; Timaeus, 33 B; 40 B u. C; 62; 63 A; Leges X, p. 893, A u. C. etc.
[29]) Nach Diog. L. 8, 1, 19 § 26 soll schon Pythagoras von Antipoden gesprochen haben (Forbiger, I, 364).
[30]) Tim. p. 25. [31]) Platonis opera rec. Stallbaum vol. VII, S. 100, Anm.
[32]) Forbiger, I. S. 112, 113, 162, 514, 517. [33]) Zeller II, 341 u. 342.
[34]) Prantl, Arist. Werke, griechisch u. deutsch II, S. 181.
[35]) De mundo cap. 3, pag. 392. Bekk., Meteorol II, 5, 16, p. 362, 6.
[36]) Heel, Gestalt und Größe der Erde. Speier 1865. Seite 9.
[37]) Forbiger, I, 539; Kosmos II, 223. [38]) Forbiger I, 178—180. [39]) Kosmos II, 181 u. 223.
[40]) Humb. Krit. Unt. I, 56. [41]) Kosmos II, 233.
[42]) Wie Forbiger (I, 541) aus diesen beiden Capiteln noch einen geheimen Zweifel des Plinius an der Kugelgestalt der Erde herauslesen kann, ist nicht recht ersichtlich.
[43]) Eigentlich gebührt der Ruhm dieses „zuerst" dem Mathematiker und Geographen Marinos aus Tyros in Phönizien, ums Jahr 150 lebend, auf den sich Ptol. durchgängig stützt, dessen Schriften uns aber verloren gegangen sind. [44]) Osterprogr. d. Realsch. z. Görlitz v. J. 1866, Seite 6.
[45]) Lact. Falsa sapientia. Lib. III, 23.
[46]) Lippold, Naturlehre, Astron. u. phys. Geogr. Hamburg, 1806, Seite 433. [47]) De civitate Dei, XVI, 9.
[48]) Nach Heel a. a. O. S. 10, während Pierers Universallexicon 547 angiebt. [49]) Krit. Unt. I, 58.
[50]) A. a. O. Siehe Anm. 46. [51]) Quod alius mundus et alii homines sub terra sint (Heel, Seite 11).
[52]) Pierer, Universallexikon, 4. Ausg., Bd. 17, Seite 118. [53]) Pierer, 17,794; 3,119; 17,118.
[54]) Neue Folge, Bd. 11, S. 40—57. [55]) Humboldt, Krit. Unt. I, 66 u. 65. [56]) a. a. O. Seite 12.
[57]) Krit. Unt. I, 69. [58]) Meyer, großes Conversationslexikon, 7. Bd., 2. Abtheilung, Seite 1012—13.
[59]) Kosmos II, 287. [60]) Kosmos II, 304.
[61]) Heel, Seite 13, giebt Mantun an, welchen Namen wir jedoch in den uns zugänglichen geographischen Werken und Karten nicht finden konnten.
[62]) Kosmos II, 308 u. 9; Michelet, das Meer, 217 u. 18; Lippold, a. a. O. 437.

[63]) Als Erfinder der σκάφη wird von Vitruv, I, 1, 17; IX, 9. der um 280—64 lebende Samier Aristarch angegeben, der nach Archimedes auch der Urheber der Lehre von der Bewegung der Erde in einem schiefen Kreise um die Sonne sein soll (Poggendorf, biogr. litter. Handwörterb. z. Gesch. der exacten Wissenschaften, I, 61 u. Pauly, Realencyklopädie I, 1931). [64]) Forbiger, I, 181. [65]) Forbiger, I, 554.

[66]) Drache und Krebs sind ganze Sternbilder. Wenn hier von einzelnen Sternen die Rede ist, so sind wahrscheinlich β draconis und γ cancri (der nördliche Esel) gemeint, welche den gemachten Angaben am nächsten kommen.

[67]) Eigentlich liegen diese Städte noch weniger auf demselben Meridian, als die oben erwähnten, Alexandria und Syene, haben vielmehr eine um fast 7° verschiedene geographische Länge. [68]) Forbiger, I, 541.

[69]) Die gemachten Angaben beruhen wahrscheinlich auf einem Mißverständnisse des Posidonius durch Cleomedes. (Forbiger I, 359—61).

[70]) Ausführlicheres über Triangulation und Alles, was damit zusammenhängt, siehe in Jahns Wörterb. d. angewandten Mathematik, Leipzig, 1847, unter den Artikeln: Dreiecksnetz, Basis, Meßstangen, Comparateur, Libelle, denen auch unsre Darstellung zumeist entlehnt ist.

[71]) Müller, Nachträge zur zweiten Aufl. vom Lehrb. d. kosm. Physik, S. 4—6. [72]) a. a. O. I, 225.

[73]) a. a. O. I, 541. [74]) Od. I, 28. [75]) Forbiger, I, 543, Anm. 89.

[76]) Kosm. II, 435, wo H. seine Vermuthung auf Chasles, recherches sur l' Astronomie indienne et chaldéenne in den Comptes rendus de l'Acad. des Sciences T. XXIII. 1846 p. 851 stützt.

[77]) Jahrgang 40, Nr. 14, Seite 335.

[78]) Ritter, geogr. Mythen der Indier. Bruchstücke aus dem 6. Buche des Mahâbhârata, übersetzt v. Prof. Ballhorn Rosen, London. Nach den Auszügen des Herrn Prof. Bopp aus Pariser und Londoner Handschriften, abgedruckt in den Monatsberichten über d. Verhandlungen d. Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin, redigirt v. Mahlmann, Neue Folge, Bd. V, S. 35.

[79]) Emsmann, Ueber das Messen und die Maaße (Progr. d. Friedr. Wilh. Schule zu Stettin, 1863) Seite 11.

[80]) Expos. du système du Monde, p. 60. [81]) p. 374. [82]) De coelo, II, extr.

[83]) Das Wort σταδίων fehlt zwar in den Codd.; es ist jedoch gewiß an keine andre Maaßbestimmung, als die nach griechischen Stadien, zu denken (Forbiger, I, 164). [84]) Opp. ed. Torelli, I, p. 251.

[85]) Nach der oben bei Erläuterung des Verfahrens gemachten Berechnung würden sich für den Umfang 6279,504 g. M. ergeben. Der Unterschied rührt daher, daß Eratosthenes, wie Letronne in seiner Abhandlung üb. d. Erdmessung der Alexandrinischen Mathematiker in den Mém. de l'Acad. des Inscr. 1822, 19, p. 261 ff. zeigt, der bequemeren Rechnung wegen den Grad rund zu 5000 statt zu 4977,7 Stadien annahm, als ob der Breitenunterschied zwischen Syene und Alexandria nicht, wie er ihn wirklich gefunden, 7° 6′ 40″, sondern 7° 8′ 34″ betragen hätte. Sprenger sucht in einer im „Auslande" Jahrgang 40, Nr. 13, 14 u. 15 abgedruckten Abhandlung „zur Geschichte der Erdmessung im Alterthume" ausführlich nachzuweisen, daß dem Eratosthenes nur das Verdienst gebühre, die den alten Aegyptern schon längst bekannte Methode der Erdmessung wieder entdeckt und mathematisch begründet zu haben.

[86]) Sprenger, a. a. O. Seite 1068 behauptet, es lasse sich nachweisen, daß der Erdumfang den Werth, welchen Posidonius ihm gab, in Babylon schon 300 v. Chr. gehabt habe. [87]) Kosmos, II, 260.

[88]) Der Wunderbau des Weltalls, 6. Aufl. Seite 643. [89]) Kosmos, III, 150. [90]) Kosmos, II, 158.

[91]) Poggendorf, Biographisch-litterarisches Handwörterbuch zur Gesch. d. exacten Wissenschaften, I, 33.

[92]) Mädler, d. Wunderb. d. W., S. 641, hat Sennaar. Bode, a. a. O. I, 226, und Poggendorf verlegen den Schauplatz der Gradmessung, die Wüste Sindschar, längs der Küste des rothen Meeres, was jedoch dem gewöhnlichen Gebrauche des Namens Sindschar (Klöden, Handb. d. Erdkunde, I, 140, u. Pierer, a. a. O. II, 279) sowohl, wie Sennaar (Pierer, XIV, 703, wo nur von dem unter 1) verzeichneten zwischen Euphrat und Tigris gelegenen die Rede sein kann, da das unter 2) u. 4) aufgeführte, welches mit dem von Klöden III, 502 erwähnten übereinzustimmen scheint, wie ein Blick auf die Karte zeigt, gebirgig ist) ganz widerspricht; Humboldt dagegen (Kosm. II, 260) giebt das von Solomon erbaute (Klöden, a. a. O. III, 243) Tadmor, das alte Palmyra, und Rakka, eine Lieblingsstadt Harun al Raschids (Klöden, III, 244), das ehemalige Nicephorium, an der Mündung des Bilecha in den Euphrat (Forbiger, a. a. O. II, 630) als Endpunkte der Messung an.

[93]) Humboldt (Krit. Unt. I, 521 giebt vier verschiedene Resultate an, zu 56, 56¼, 56⅔ u. 57 Meilen, jede zu 4000 schwarzen Ellen (von einem äthiopischen Sklaven des Chalifen so benannt, von dessen langem Arme

die schwarze Elle copirt sein soll. Krit. Unt. I, 84), berechnet daraus die mittlere Länge des Grades zu 56,48 Meilen oder 564,8 Stadien und für den Umkreis der Erde 203328 Stadien. Nach Dieterici (Zeitschrift f. allg. Erdk. neue Folge, Bd. 11, Seite 51, Anm.) machen 3 arab. Meilen eine Parasange, nach Forbiger (I, 556) eine Parsange ¾ geogr. Meilen, so daß also nach diesen Angaben der Umfang der Erde sich zu 5083,2 geogr. M. ergeben würde. Ausführlichere Nachricht über den Antheil der Araber an der Erdmessung giebt ein Artikel von Sprenger (Ausland, Jahrg. 40, Seite 1181—1184), der dem Verfasser erst zu Gesicht gekommen ist, als die vorliegende Arbeit sich bereits unter der Presse befand.

[94]) a. a. O. Seite 642.

[95]) Meyer, großes Conversationsl. f. d. geb. Stände, I, 105,2. Bode (a. a. O. 226) giebt 1550 an, was jedoch unwahrscheinlich ist, da sich die Messung nach Poggendorf (a. a. O. 735) schon in dem 1528 in Paris erschienenen Werke, Cosmotheoria, seu de forma mundi et de corporibus coelestis libros duos complexa beschrieben wird. [96]) Heel, a. a. O. Seite 15. [97]) Bode, a. a. O. I, 227.

[98]) Poggendorf a. a. O. I, 455. [99]) Heel, a. a. O. Seite 16, Poggendorf, a. a. O. II, 948.

[100]) Kosmos II, 506.

[101]) Bode, a. a. O. I, 233 und Sammlung astronomischer Tafeln, unt. Auff. der königl. preußischen Akad. d. Wissenschaften. Berlin, Decker, 1776, Bd. 3, Seite 170. Die davon abweichende Angabe von Meyer gr. Conv. I, 105 mit 55021 Toisen bezieht sich wahrscheinlich auf die erste Berechnung, für welche auch Heel die geogr. Breite von Alkmaar zu 52° 40′ 30″, die von Bergen op Zoom zu 51° 29′, also die mittlere geographische Breite zu 52° 4′ 45″ rechnend, eine absolute Länge von 33930 rheinischen Ruthen und daraus die Länge eines Grades zu 28500 rheinischen Ruthen oder 55100 Toisen angiebt, und bei welcher Snell die damals grade auftauchenden Logarithmen (Napier, mirifici logarithmorum canonis descriptio. Edinb. 1614, verm. ebend. 1618, auch Leyd. 1620) noch nicht benutzen konnte, die den Grad zu klein gegeben hatte, und die er später selbst als fehlerhaft in der Winkelbestimmung erkannte, weshalb er eine zweite Messung unternahm und eben im Begriff war, dieselbe dem Drucke zu übergeben, als durch Ueberschwemmung die Umgebung von Leyden unter Wasser gesetzt wurde, und eine starke Kälte eine weit ausgebreitete Eisdecke darüber zog. Diese ebene Eisfläche lockte ihn zu einer dritten Messung mit größerer Basis zwischen Voorschotten und dem Schlosse Douzy, bei deren Berechnung ihn jedoch der Tod überraschte, so daß dieselbe fast ein Jahrhundert unbenutzt liegen blieb, bis sie in die Hände von Mußchenbroeck fiel, der Messung und Rechnung nochmals vornahm und die Länge eines Grades = 57033 Toisen fand.

[102]) Auch Blaeuw, Blauw, Blaew und Bleau genannt, oder unter dem latinisirten Namen Caesius aufgeführt.

[103]) Bode a. a. O. I, 227. Die Resultate dieser Messung sind im 2. Theile des Werkes„ The epitome and doctrine of triangles. Trigonometry, London 1636“, betitelt „The seaman's practice“ enthalten. (Poggendorf, II, 301). [104]) Bode, a. a. O. I, 213; Meyer a. a. O. I, 105; Kosmos II, 392.

[105]) Kästner, mathem. Anfangsgründe 2. Theil 2. Abthlg. 3. Aufl. Göttingen, 1781, Seite 338, u. Bode, I, 233, während Meyer a. a. O. und Heel, Seite 17 „57060“ haben. Wahrscheinlich ist entweder 0 oder 9 Druckfehler. Die Originalwerke „La mesure de la terre par. Mr. P., Paris, 1671“, welches die Resultate dieser Messung enthält, und zwei Abhandlungen „Observations sur les différentes méthodes employées pour mésurer la terre“ (Anc. Mém. Par. T. I.) u. „Traité du nivellement“ (Jb. T. VI.), in denen die dabei angewendeten Methoden beschrieben sind, sind dem Vf. nicht zugänglich gewesen.

[106]) Nach Roudolf „die astronomischen und kosmischen Anschauungen der älteren Zeit bis auf Aristoteles in ihrem Zusammenhange mit dem geistigen Entwickelungsgange der Menschheit dargestellt“ (Progr. des Gymn. z. Neuß, 1866) soll schon der alte Anaxagoras (s. o.) sich zu der Vermuthung erhoben haben, daß der Mond, wenn seine Schwungkraft aufhörte, zur Erde fallen würde, wie der Stein in der Schleuder.

[107]) Die Wunder des Himmels, Stuttgart, 1834, Bd. III, Seite 55.

[108]) Meyer, a. a. O. Bd. 7, 1, Seite 608, 2; Kästner, a. a. O. 2, 2, 335; Poggendorf, I, 390.

[109]) De la méridienne de l'observatoire roy. de Paris prolongée jusques aux Pyrénées (Mém. Par. 1701).

[110]) Heel a. a. O. Seite 20 giebt irrthümlich den ganzen Bogen von Dünkirchen bis nach den Pyrenäen zu 6° 18′ an. [111]) Kosmos, I, 172. [112]) Kosmos, I, 420.

[113]) Brewster, Life of Sir Isaac Newton, 1831, p. 164: „The discovery of the spheroidal form of Jupiter by Cassini had probably directed the attention of Newton to te determination of its cause, and consequently to the investigation of the true figure of the earth.

[114]) Principia mathematica, 3, pr. 19. [115]) Discours sur la cause de la pesanteur. 1691.

[116]) De figura telluris. Strasb. 1691. [117]) Kästner, 2, 2, 341. [118]) Relation abrégée d'un voyage fait dans l'intérieur de l'Amérique méridionale. Paris 1745. Extrait des opérations.... faites pour la mesure des degrés du méridien aux environs de l'équateur (Mém. Par. 1746). Journal du voyage fait par ordre du Roi à l'équateur. Paris 1751. Mesure des trois premiers degrés du méridien dans l'hemisphère austral. Paris 1751.

[119]) Comparaison de deux loix que la terre et les autres planètes doivent observer dans la figure que la pesanteur les fait prendre (Mem. Par. 1734). La figure de la terre déterminée par les observations de MM. de la C. et B. Paris 1749.

[120]) Relacion historica del viage à la America meridional. 2 voll. 4° Madrid 1748. Observationes astronomicas y fisicas hechas de orden de S. M. en los reynos del Perú, de las cuales se deduce la figura y magnitud de la tierra y se aplica à la navegacion, por D. J. J. y. D. Antonio de Ulloa 1 vol. 4° Madrid 1748, 2. Aufl. 1773. [121]) Emsmann a. a. O. Seite 5.

[122]) Bref om Jordens figur. Upsala, 1736.

[123]) Observationer om tvenne beständige grader på en thermometer. Upsala, 1744.

[124]) Sur la figure de la terre et sur les moyens que l'astronomie et la géographie fournissent pour la déterminer. (Mém. Par. 1733). Sur la figure de la terre (Mém. Par. 1736). La figure de la terre determinée par. MM. de l'acad. roy. d. Sciences, qui ont mesuré le degré du méridien au cercle polaire etc. (Mém. Par. 1737) Sur la figure de la terre déterminée par les observations de Mrss. Maupertuis, Clairault, Camus, Le Monnier et l'abbé Outhier 12° Amsterd. 1738. Lateinisch Lips. 1742.

[125]) Sur la nouvelle méthode de Cassini pour connaître la figure de la terre (Mém. Par. 1735). Sur la mesure de la terre par plusieurs arcs de méridien pris à diff. latitudes (Mém. Par. 1736). Investigationes aliquot, ex quibus probatur, terrae figuram.... maxime ad ellipsin accedere debere (Phil. Trans. 1737). Théorie de la figure de la terre (Paris 1743). Das letztere Werk stützt sich auf hydrostatische Grundsätze und ist das erste Werk eines französischen Mathematikers, welches die Entdeckung Newtons weiter führt, und den analytischen Ausdruck für die Bedingungen des Gleichgewichts der Flüssigkeiten giebt. (Meyer, 7, 2, 791). [126]) Journal d'un voyage fait au nord en 1736 et 1737. 4° Paris 1744.

[127]) Kosmos, IV, 22, während Heel die geogr. Breite des Berges Kittis zu 66° 48′ 30″ und die Breite von Tornea zu 65° 51′ 15″ angiebt.

[128]) Heel, Seite 21, der dafür das Originalwerk von Maup. citirt, wogegen Kästner II, 338 ohne Angabe seiner Quelle 57422 T. hat. [129]) De observationibus pro figura telluris determinanda. Upsala, 1738.

[130]) Kosmos IV, 22. [131]) Heel, S. 21.

[132]) Heel, a. a. O. Wir stellen im Nachfolgenden die uns zugänglichen Angaben über diese Messung zusammen: Kästner II, 2,338: geogr. Br. 0°, 0′, L. d. G. 56753 T. Samml. astr. Taf. (s. Anm. 101), III, 170: g. Br. 0° 30′, L. d. G. 56753 T. Bode, a. a. O. I, 233: g. B. 1° 20′, L. d. G. 56753 T. Meyer a. a. O. I, 106: g. B. 1° 31′ 0″, L. d. G. 56737 T. Kosmos IV, 22: g. B. 1° 31, 0,4″, L. d. G. 56864,6″. In dieser Zusammenstellung scheint 56753 der ursprünglichen Angabe Condamines zu entsprechen, die Meyer wahrscheinlich nicht zur Hand hatte, während die abweichende Angabe Humbolds sich vermuthlich auf eine durch Bessel vorgenommene Revision der Rechnung stützt.

[133]) Eine Zahl, die freilich nach der von Celsius bewirkten Correctur des Resultates von Maupertuis, und wenn man auch dem peruanischen Grade den von Humboldt angegebenen Werth beilegt, auf 337,2 Toisen zusammenschrumpft. [134]) Kästner 2,2,341.

[135]) Jahn, Gesch. d. Astr. v. 1801—1842, Leipzig 1844, Bd. II, S. 156 giebt statt dessen den 146. Theil an.

[136]) Heel, Seite 21.

[137]) La méridienne de l'observatoire de Paris verifiée dans toute l'ètendue du royaume etc. (Mém. Par. 1744). Le Monnier, opérations faites pour la verification du degré du Méridien entre Paris et Amiens par Bouguer, Camus, Cassini et Pingré. Observations faites pour connaitre la distance terrestre entre Paris et Amiens. 8° Paris 1757. [138]) Meyer, a. a. O. Bd. 7, 1, Seite 87.

[139]) Die oben schon angeführten astr. Tafeln geben III, Seite 170, folgende Resultate: v. Perpignan bis Rodez, 44° 33′ mittl. g. Br. 57048 Toisen; v. Rodez bis Bourges, 46° 14′ m. g. B. 57040 T; v. Bourges bis Paris, 47° 28′ m. g. B. 57071 T; v. Paris bis Amiens, 49° 22′ m. g. B. 57074 T; v. Amiens bis Dünkirchen, 50° 27′ m. g. B. 57092 T. Dagegen giebt Heel, sich auf Delambre, hist. de l'Astr. berufend, für die mittl. g. Br. v. 45° die Länge des Grades zu 57012 T. an. [140]) Bode, a. a. O. I, 236.

[141]) De figura et magnitudine Telluris. [142]) Kosmos II, 341.
[143]) Mém. de l'Acad. de Prusse, 1753, p. 265.
[144]) M. de l'Ac. de Pr. 1754, p. 337, auch Mém. de l'Ac. des Sc. 1755, p. 53. Sur la précision des mesures géodésiques faites 1740 entre Paris et Amiens etc.
[144]) Diverses observations astronomiques et physiques faites au Cap de Bonne Espérance (Mém. de l'Acad. des Sc. 1755, p. 435. Journal historique d'un voyage fait au Cap de Bonne Espérance, herausgeg. v. Cortier, 12° Paris, 1763, deutsch, Altenburg, 1778.
[145]) Kosmos IV, 22, wogegen Kästner, d. astr. T. u. Heel 57037 T. und Bode 57040. T.
[146]) Exposition du systeme du monde. 4. ed. Paris, 1813, p. 65. [147]) Heel, Seite 22.
[148]) De literaria expeditione per pontificiam ditionem ad dimetiendos duos meridiani gradus a P. P. Maire et Boscovich, Romae, 1755. [149]) astr. Tafel u. Bode, während Kästner 43° 0′ hat.
[150]) Kästner u. astr. Taf., während Bode 56973 hat. [151]) Gradus Taurinensis. Aug. Taur. 1774.
[152]) Bode u. Kästner, während d. astr. T. 57138 haben. [153]) Letter d'un Italiano al un Pavigino.
[154]) A short Account of the measurement of three degrees of latitude under de meridian of Vienna (Phil. Tr. 1768) Dimensio graduum meridiani Viennensis et hungarici. 4° Viennae, 1770.
[155]) Observations for determining the length of a degree of latitude in the provinces of Maryland and Pennsylvania by Mssrs. Dixon and Mason (Phil. Tr. 1768, p. 326).
[156]) Kosmos IV, 22, während d. astr. Taf., Kästner und Bode übereinstimmend 56888 T. haben.
[157]) De telluris forma. Warschau, 1780.
[158]) Ueber die Figur der Erde (Bode's astronom. Jahrb. 1787, 1788 und 1800), Berechnung der Zone zwischen dem Aequator und einem Parallelkreise auf einem elliptischen Sphäroide. (Jb. 1790). Aufgabe zur Meteorologie und Erdmeßkunst (Gilbert, Annalen XIX, 1805).
[159]) A short Account of the late Mr. Reuben Burrows Measurement of a degree of Longitude and another of Latitude near the tropic in Bengal in the years 1791 and 1792, by Isaac Dalby, London 1796.
[160]) In seiner 1670 in Leyden erschienenen Dissertation: De dierum naturalium inaequalitate etc.
[161]) Emsmann a. a. O. Seite 6.
[162]) Méthodes analytiques pour la détermination d'un arc du méridien. Paris, 1799. Base du système métrique décimale ou Mesure de l'arc du méridien compris entre les parallèles de Dunkerque et de Barcelone executée en 1792 et années suivantes par Méchain et Delambre, redigée par Delambre 3 voll. 4° 1806, 1807 et 1810. [163]) Jahn, Gesch. d. Astron. Bd. 2, Seite 152.
[164]) Emsmann a. a. O. Seite 6 u. 7. [165]) Wie auch spätere Untersuchungen Otto August Rosenbergers (Ueber die in den Jahren 1736 und 37 in Schweden vorgenommene Gradmessung. Astr. Nachrichten VI, 1828) ausdrücklich nachgewiesen haben. [166]) Monatl. Corresp. V, Seite 156 u. f.
[167]) Historisk öfversigt af problemet om jordens figur, jemte anledningarne till den nya Lappska gradmättningen och definitiva resultaterna deraf etc. (Vetensk. Acad. Handl. 1804). Exposition des opérations faites en Lapponie pour la determination d'un arc du méridien en 1801, 1802 et 1803 par Oefverbom, Svanberg, Holmquist et Palander. 8° Stockholm 1805. In letzterem Werke giebt Svanberg das Detail der ganzen Operation und verbindet hiermit eine beständige Entwickelung aller erforderlichen Correctionen und Rechnungsmethoden.
[168]) Jahn, Gesch. d. Astr. II, 156, während Bode a. a. O. I, 238 dagegen 92796 T. angiebt.
[169]) Jahn a. a. O., während Humboldt, Kosm. IV, 22 nur 57195,8 T. hat.
[170]) Jahn a. a. O. u. Meyer, wogegen Humboldt 56759,0 T. und Müller, kosm. Physik, Seite 57 für 12° 32′ g. B. 56762,3 T. angiebt.
[171]) Nachrichten von der preuß. trigonometr. u. astr. Aufnahme v. Thüringen u. s. w. 1. Th. 4° Gotha, 1806.
[172]) Monatliche Corresp. X, Seite 485 u. ff. [173]) Mon. Corresp. 1802, V u. VI.
[174]) Größe d. kleinen Erdaxe und der Abplattung u. s. w. Astron. Nachrichten XII. 1835.
[175]) Monatl. Corr. XVI, Seite 434, XIX, Seite 486, XXI, Seite 450. [176]) Monatl. Corr. XII, Seite 170.
[177]) Jahn, a. a. O. Seite 153.
[178]) Recueil d'observations géodésiques, astronomiques et physiques exécutées par ordre du Bureau des Longitudes de France en Espagne et en Ecosse pour determiner la variation de la pesanteur et des degrés terrestres sur le prolongement du méridien de Paris, red. p. Biot et Arago (erschien als 4. Th. der Base du système métrique) Paris, 1821. [179]) Bibl. britann. XLIII, p. 43 ff.

[180]) Biot, Astr. phys. I, p. 161.

[181]) Jahn a. a. O. Seite I. 154 u. Meyer a. a. O. 105, während Kosm. IV, 22 12° 22′ 12,7″ angegeben ist, und Walbeck in seiner 1819 zu Abo erschienenen „Dissertatio de forma et magnit. Telluris et dim. arcubus meridiani definiendis" die Breite der Endpunkte zu 38° 39′ 56,11″ u. 51° 28, 39,56″, also den dazwischen befindlichen Bogen zu 12° 48′ 43,45″ oder 730431,3 Toisen angiebt.

[182]) Jahn, während Humb. 44° 51′ 2,5″ angiebt.

[183]) Heel, a. a. O. Seite 22, giebt als Resultat 57006,14 T. für 45° Br. an.

[184]) An account of the mode proposed to be followed in determining the relative situation of the roy. observatories at Greenwich and Paris (Phil. Tr. 1787). An account of the trigonometr. operations whereby the distance between the meridians of the roy. observatories of Greenwich and Paris are determined (Ib. 1790).

[185]) An account of the measurements of an arc of the meridian extending from Dunnose in the isle of Wight latit. 50° 37′ 8″ to Clifton in Yorkshire latit. 53° 27′ 31″ in course of the operations carried on for the trigonometrical survey of England in the years 1800, 1801 and 1802. (Phil. Tr. 1803 u. 1812).

[186]) Gesch. d. Rheinmessung (Zeitschr. f. Astr. V, 1818). [187]) Jahrg. 40, Nr. 14, Seite 333 u. 334.

[188]) Von diesen selbst hat d. Verf. in den ihm zugänglichen Quellen einen bestimmten Bericht nicht auffinden können.

[189]) Sur les voyages entrepris pour mesurer la courbure de la terre et la variation de la pesanteur terrestre sur l'arc méridien compris entre les îles Pithiuses et les îles de Shetland (Mém. de l'Acad. 1820, III), Sur la figure de la terre (Mém. de l'Acad. 1829, VIII).

[190]) Resultate der in den Jahren 1816—19 ausgeführten astronomisch-trigonometrischen Vermessung Lievlands (Mem. d. Petersb. Acad. Serie VI, T. VI, 1850).

[191]) Beschreibung der Breitengradmessung in den Ostseeprovinzen Rußlands. 2 Bde. 4° Dorpat, 1831.

[192]) Vereinigung der beiden in den Ostseeprovinzen und in Lievland bearbeiteten Bogen der russischen Gradmessung (Mem. d. Petersb. Acad. Serie VI, T. II, 1833).

[193]) Exposé historique des travaux exécutés jusqu' à la fin de l'année 1851 pour la mesure de l'arc du méridien entre Fuglenaes et Ismail etc. 4° Petersb. 1852. Unsre Darstellung der russischen Gradmessung stützt sich theils auf Jahn a. a. O. Seite 169—174, theils auf einen Auszug aus einem Werke des russischen Generals d. Inf. v. Schubert, Exposé des travaux astronomiques et géodésiques exécutés en Russie dans un but géographique, jusqu' à l'année 1855. St. Petersb. 1858, welcher im 6. Bde. d. neuen Folge der Zeitschr. f. allg. Erdkunde, 257—274 abgedruckt ist.

[194]) Gradm. in Ostpreußen, ausgef. v. Bessel u. Baeyer, Berlin, 1838.

[195]) Popul. Vorlesungen üb. wissensch. Gegenstände von Bessel, herausgeg. v. Schumacher. Hamburg, 1843.

[196]) Darstellung der Untersuchungen und Maaßregeln, die 1835—38 durch die Einheit des preußischen Längenmaaßes veranlaßt worden sind. Berlin, 1839.

[197]) Ueber die Bestimmung der Entfernungen im Weltgebäude, Berlin, 1842, Seite 13.

[198]) Seite 12 u. 13. [199]) Kosmos IV, 153.

[200]) An Account of the measurement of an arc of the meridian 4° London 1830.

[201]) In seinem ausgezeichneten Lehrbuche der mathem. u. physischen Geogr. 1829. Th. I, Seite 194—99.

[202]) Figure of the Earth in der Encyclopaedia metropolitana. Ed. v. 1849 p. 220—239.

[203]) Kosmos IV, 151, Anm. 7.

[204]) Unsre Darstellung der Arbeiten Bessels stützt sich vorzugsweise auf einen Aufsatz Mädlers, abgedruckt in Westermanns Monatsheften Nr. 132, Seite 611.

[205]) An Account of the measurement of two sections of the meridional arc of India, 2 voll. 4° London, 1847.

[206]) Mädler, Wunderbau des Weltalls, 6. Aufl., Berlin, 1867, Seite 23.

[207]) Zeitschr. f. allgem. Erdkunde, Neue Folge, Bd. XIII, Seite 429—434.

[208]) Leipz. ill. Zeitung v. 9. Nov. 1867, Seite 306.

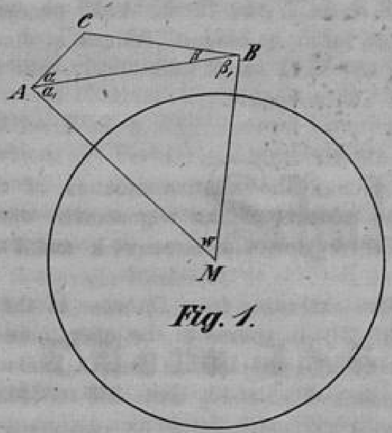

Fig. 1.

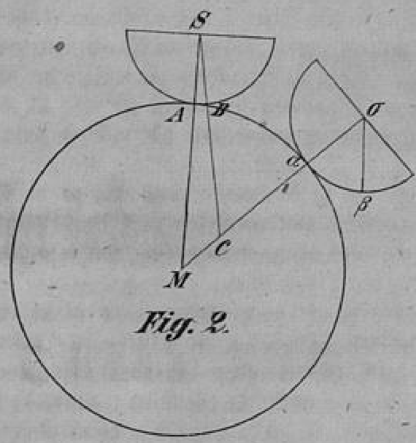

Fig. 2.

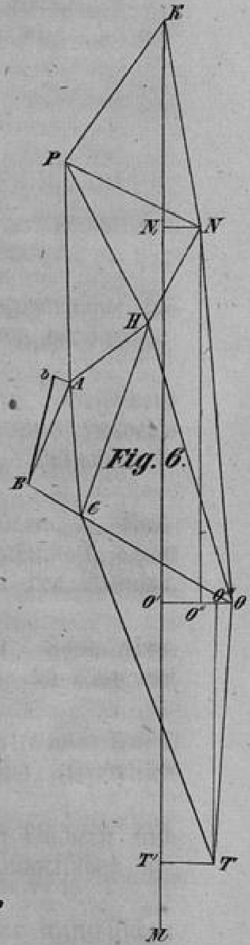

Fig. 6.

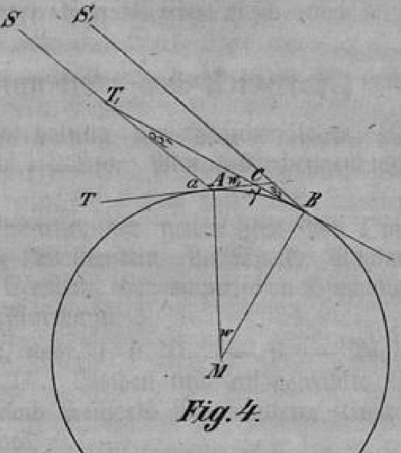

Fig. 4.

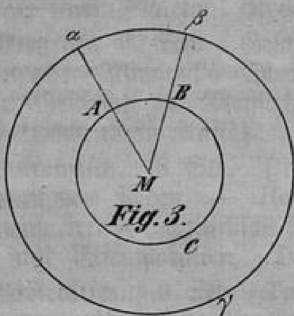

Fig. 3.

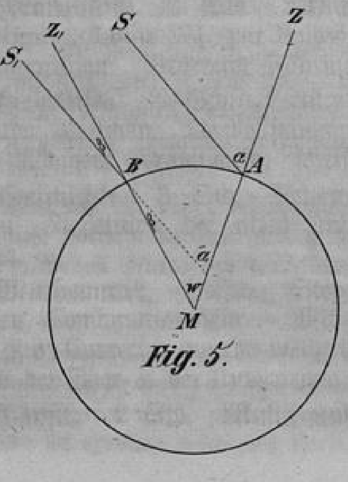

Fig. 5.

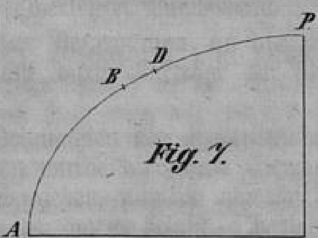

Fig. 7.