Geschichtliche Entwickelung und gegenwärtiger Zustand unserer Kenntnisse über die Gestalt der Erde.[1])

Es wird wohl kaum in Abrede gestellt werden, daß eine nähere Kenntniß der Erde, unseres gemeinsamen Wohnsitzes, ein Gegenstand sei, der ganz besonders geeignet ist, das allgemeine Interesse zu erregen. Ist doch die Erde, die ihrem Bewohner bei jedem Schritte und Tritte sich darbietet, für uns Menschen dasjenige, auf welches sich zunächst das Streben nach Erkenntniß richtet. Die allgemeinsten Verhältnisse derselben, ihre Gestalt und Größe, sollen daher im Folgenden erörtert werden, das Wichtigste, was der Menschengeist in dieser Hinsicht entdeckte, soll vorgeführt, und es soll zugleich der Weg angegeben werden, auf welchem die Wissenschaft zu diesen Entdeckungen und Kenntnissen gelangt ist.

Der unter gewöhnlichen Verhältnissen sichtbare Theil der Erdoberfläche erscheint dem Beobachter als eine nicht gar große, flache Scheibe, bald ganz oder nahe eben, wie auf dem Meere oder in einer sehr flachen Gegend, bald uneben und bedeckt mit mannigfachen, unregelmäßigen Erhebungen und Einsenkungen, und dieser Anschein ist ganz geeignet, in uns die Vorstellung zu erwecken, die Gestalt der Erdoberfläche sei überhaupt im großen Ganzen genommen die einer wagerechten Ebene. Auch Reisen, die keine sehr große Ausdehnung nehmen, bieten für den gewöhnlichen Anblick wenig oder kaum Etwas dar, was diese Vorstellung von der Gestalt der Erdoberfläche wankend machen könnte. So betrachten denn auch z. B. die ältesten griechischen Dichter, Homer und Hesiod, deren Gesänge aus grauer Vorzeit auf uns gekommen, die Erde als eine flache Scheibe, die sich von Griechenland aus westlich einige Tagereisen über Sicilien und ostwärts nicht viel über das schwarze Meer hinaus erstrecke; diese Erdscheibe dachte man sich dann allseits vom Meere umflossen.

Anders aber wie für den gewöhnlichen Anblick gestalten sich die Verhältnisse für die schärfere Beobachtung, und es gehört für den, der mit einigen Werkzeugen versehen ist, wirklich gar nicht viel dazu, eine Reihe von Erscheinungen wahrzunehmen, welche mit der Vorstellung von der Erdoberfläche als einer wagerechten ebenen Fläche völlig unvereinbar sind, die vielmehr unwidersprechlich darthun, daß dieselbe in allen Punkten nach allen Richtungen hin gekrümmt und zwar nahe gleich stark gekrümmt sein muß, daß die Erde demnach wenigstens im großen Ganzen genommen und in erster Annäherung die Gestalt einer Kugel habe. Dieser Satz bezeichnet das erste Stadium in den Forschungen über die Gestalt der Erde; auf ihn und eine nur ganz ungefähre Kenntniß der Länge des Halbmessers der als kugelförmig vorausgesetzten Erde beschränkte sich bis vor etwa 150 Jahren Alles, was man in der vorliegenden Frage wußte. Obgleich heute kein Urtheilsfähiger mehr die kugelförmige Gestalt der Erde bezweifelt, so scheint es doch gerathen, der Vollständigkeit halber auch über diesen, wenn gleich sehr bekannten Gegenstand, in Kürze und andeutungsweise Einiges anzuführen.

---

[1]) Die folgende populäre Abhandlung wurde von dem verstorbenen Rektor des Aloysianums zum Zwecke eines Vortrages niedergeschrieben. Das Collegium glaubt durch die Veröffentlichung derselben einen Akt der Pietät gegen den Verfasser zu erfüllen, besonders aber den vielen Freunden desselben ein erwünschtes Andenken zu bringen.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Wenn man sich in einer großen Ebene oder besser noch an oder auf einer ausgedehnten Wasserfläche, auf dem Meere oder auch nur einem größeren Landsee, befindet, so vermag man bis zu einer gewissen Entfernung hin einen hohen Gegenstand, etwa einen Thurm oder ein Schiff mit Masten und Segeln, ganz zu übersehen: entfernt sich dagegen derselbe, etwa ein Schiff, immer weiter vom Beobachter, so verschwinden allmählich die untern Theile desselben dem Blicke mehr und mehr, und nach einiger Zeit ist nur noch die Spitze sichtbar, auch wenn das Auge mit einem guten Fernrohre bewaffnet ist, und in diesem die noch übrigen Theile des fernen Gegenstandes scharf und deutlich erkennbar sind. Das Umgekehrte findet statt, wenn sich ein solcher Gegenstand, etwa ein Schiff, dem Beobachter nähert; im Fernrohr erblickt man zuerst nur die Spitzen seiner Masten, dann scheinen die Segel vor und nach aus den Wellen aufzutauchen, und erst zuletzt wird auch der untere Schiffskörper sichtbar. Es könnte dieses nicht der Fall sein, wenn die Erd- oder Meeresoberfläche eine Ebene wäre; mit zunehmender Entfernung würden dann zwar im Ganzen die Gegenstände immer kleiner erscheinen, sowie immer undeutlicher und schwerer sichtbar werden; es wäre dann aber gar kein Grund dafür vorhanden, daß die untern Theile derselben eher als die obern dem beobachtenden Auge entschwinden sollten. Es kann jene Erscheinung vielmehr nur eine Folge davon sein, daß die Erdoberfläche sich mit den auf ihr befindlichen Gegenständen nach allen Seiten hin allmählich unter den Horizont des Beobachters, d. h. unter die durch den Standpunkt des Beobachters gehende wagerechte Ebene senkt, so daß also nach und nach die einzelnen Theile eines sich weiter und weiter entfernenden Gegenstandes von unten nach oben durch die Krümmung der Erdoberfläche für das Auge verdeckt werden. Für das bloße, unbewaffnete Auge ist die in Rede stehende Erscheinung nur wenig merkbar, weil dasselbe hinreichend ferne Gegenstände überhaupt nicht deutlich genug mehr erkennt; wenn man indessen mit einem mäßigen Fernrohr versehen ist, so kann man sowohl überall von der Meeresküste aus, als auf dem Meere von einem Schiffe aus an jedem sich entfernenden oder näher kommenden Schiffe die angegebenen Erscheinungen wahrnehmen. Auch am Ufer der größern Landseen, etwa des Bodensee's, treten dieselben ganz unzweideutig auf.

Wir wollen aber nicht bloß die Art und Weise, wie ferne Gegenstände dem Beobachter entschwinden, sondern auch die Entfernung selbst, in der dieses der Fall ist, näher in Betracht ziehen. Es läßt sich nämlich wenigstens ungefähr angeben, wie klein ein ferner Gegenstand erscheinen müsse, damit das Auge denselben nicht mehr wahrzunehmen vermöge; und daraus ergibt sich dann allgemein der Schluß, daß wenn die Erde eine ebene Oberfläche besäße, ferne hohe Gegenstände viel weiter sichtbar sein müßten, als sie es erfahrungsgemäß in Wirklichkeit sind. Denken wir uns z. B. einen hohen Berg in der Nähe der Meeresküste, etwa den Pic von Teneriffa, einen Berg auf einer der canarischen Inseln, der ungefähr $^1/_2$ Meile hoch ist. Wenn letzterer auf dem Meere so lange sichtbar bleiben sollte, bis er wegen der großen Entfernung zu klein erschiene, um ferner wahrgenommen zu werden, — und es wäre dieses der Fall, wenn die Meeresoberfläche eine Ebene wäre, — so müßte derselbe, wie eine kleine Rechnung ergibt, viele Hunderte von Meilen weit sichtbar sein. In der That verschwindet er aber dem Beobachter auch im vorzüglichsten Fernrohr schon in einer Entfernung von etwa 30 Meilen, was wieder nur daher rühren kann, daß auf eine solche Entfernung von etwa 30 Meilen die Krümmung der Meeresoberfläche hinreicht, einen etwa $^1/_2$ Meile hohen Gegenstand dem Auge zu verdecken.

Eine verwandte Erscheinung ist die, daß sich unser Gesichtskreis oder die Entfernung, bis zu welcher hin wir Gegenstände noch wahrnehmen können, mehr und mehr erweitert, je höher der Standpunkt ist, auf dem wir uns befinden. Denken wir uns wieder einen nicht zu weit von der Meeresküste entfernten hohen Berg; je höher wir an demselben hinaufsteigen, desto größer wird die Entfernung, auf welche hin wir ferne Gegenstände, Inseln oder Schiffe, noch wahrnehmen können. So würde von der Spitze des Pic von Teneriffa aus ein Schiff, natürlich in einem hinreichend weit tragenden Fern-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

rohre, noch in einem Abstande von etwa 30 Meilen sichtbar sein. Wenn aber die Erde und das Meer eine ganz ebene Oberfläche darböten, so wäre es schlechthin nicht einzusehen, weshalb man von einem höhern Standpunkte aus eine weitere Strecke sollte übersehen können, als von einem weniger hohen; betrachtet man dagegen die Erdoberfläche als gekrümmt, so ist leicht zu verstehen, wie der Beobachter ein desto größeres Stück derselben zu übersehen vermag, je höher sein Standpunkt ist.

Wenden wir nun ferner unsere Aufmerksamkeit von der Erde weg zu den Erscheinungen, die sich uns am Himmel darbieten, so begegnen wir auch hier mehreren Thatsachen, die nur die Folge einer allseitigen, nahezu kugelförmigen Krümmung der Erdoberfläche sein können. Denken wir uns, es habe sich heute morgen früh Jemand etwa in Paris befunden, seine Uhr genau nach der dortigen Zeit gerichtet und den Moment des Aufganges der Sonne oder irgend eines Sternes notirt. Derselbe sei heute etwa bis Cöln gereist und beobachte morgen früh auf der Uhr, die noch immer nach Pariser Zeit gehen soll, wieder den Moment des Sonnenaufganges; er wird finden, daß die Sonne in Cöln etwa 20 Minuten früher aufgeht als in Paris. Reiset derselbe in den nächst folgenden Tagen weiter ostwärts, so wird er finden, daß dieser Unterschied in Berlin etwa $^3/_4$ Stunden, in Königsberg schon über eine Stunde, in Petersburg bald zwei Stunden beträgt u. s. w. Reiset Jemand umgekehrt in westlicher Richtung und läßt dabei seine Uhr fortwährend nach der Zeit des östlich gelegenen Ausgangspunktes seiner Reise gehen, so wird er an jedem folgenden Tage den Aufgang der Sonne oder irgend eines Sternes später erblicken als am vorhergehenden. Oder wenn Jemand an einem westlich gelegenen Orte eine Uhr oder für exacte Bestimmungen ein genaues Chronometer so richtet, daß dieselben die richtige Zeit dieses Ortes angeben, d. h. um ungefähr wenigstens den Sinn dieses Ausdruckes zu erklären, daß sie Mittag zeigen, wenn die Sonne die Hälfte ihres scheinbaren täglichen Laufes am Himmel an jenem Orte vollendet hat, und er reist dann mit dieser Uhr oder diesem Chronometer nach einem östlich gelegenen Orte, so wird er finden, daß eine für diesen neuen Ort richtig gehende Uhr mit seiner mitgebrachten nicht übereinstimmt, sondern um ein Bestimmtes vorgeht, und zwar desto mehr, je weiter östlich der Ort liegt. Gerade umgekehrt ist es für einen westlich liegenden Ort; an einem solchen geht die Uhr im Vergleich mit einem ostwärts gelegenen zu spät, und zwar desto mehr, je weiter westlich der erstere liegt. Noch anders können wir uns vom Stattfinden dieses Zeitunterschiedes vergewissern. Denken wir uns zwei Beobachter, etwa den einen in Paris und den andern in Petersburg, die dieselbe Himmelserscheinung beobachten, z. B. den Eintritt einer Mondfinsterniß, eine Verfinsterung eines Jupiters-Trabanten u. s. w.; beide sollen mit Uhren versehen sein, die genau die richtige Zeit ihres Ortes angeben. Wenn dann der Beobachter in Paris nach seiner Uhr den Eintritt der Erscheinung etwa um Mitternacht beobachtet, so wird in demselben Momente, wo die Erscheinung eintritt, die Uhr des Beobachters in Petersburg nicht etwa auch Mitternacht, sondern schon bald zwei Uhr Morgens zeigen. Aus allem Gesagten geht hervor, daß der Auf- und Untergang von Sonne, Mond und Sternen, Mittag und Mitternacht, der Anbruch des Tages und der Nacht u. s. w. nicht auf der ganzen Erde zu gleicher Zeit stattfinden, sondern früher an östlich und später an westlich gelegenen Orten. Diese Thatsache wäre unerklärlich, wenn die Erdoberfläche eine Ebene wäre, denn in diesem Falle müßten alle derartigen Erscheinungen allerorts gleichzeitig eintreten; sie kann vielmehr nur darin ihren Grund haben, daß die Erde in der Richtung von Ost nach West gekrümmt ist. Wenn für einen östlich gelegenen Ort z. B. die Sonne eben aufgeht, so kann dieselbe zu gleicher Zeit an einem mehr westlich gelegenen Orte noch nicht gesehen werden, eben weil an letzterm der zwischen beiden liegende Theil der gekrümmten Erdoberfläche sie um diese Zeit noch verdeckt; es muß sich also, um im Sinne der scheinbaren Bewegung zu sprechen, die Sonne noch eine Strecke weiter erheben, oder um im Sinne der wirklich stattfindenden Bewegung zu sprechen, die kugelförmige Erde muß sich um ihre Axe noch um einen gewissen Winkel drehen, bis ein westlich gelegener Ort so weit nach Osten gerückt ist, daß die Sonnenstrahlen ihn erreichen kön-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

nen. Daraus, daß die in Rede stehenden Zeitunterschiede sich überall in gleicher Größe bei in der Richtung von Osten nach Westen gleich weit entfernten Orten auf der Erde vorfinden, geht also hervor, daß letztere überall in der Richtung von Ost nach West wenigstens nahe gleichstark gekrümmt ist.

Denken wir uns ferner Jemanden, der von unserer Gegend aus einmal nach Norden, ein ander Mal nach Süden reist, und dabei an den verschiedenen Orten, zu denen er gelangt, den Himmel beobachtet; oder denken wir uns eine Reihe von Beobachtern, welche zu gleicher Zeit von verschiedenen auf einer von Norden nach Süden gerichteten Linie gelegenen Standpunkten dieses thun. Der Anblick des Himmels zu derselben Zeit wird für die verschiedenen Beobachter ein sehr verschiedener sein. Die Höhe, welche die Sonne an einem bestimmten Tage Mittags über dem Horizonte erreicht, wird desto kleiner, je mehr ein Ort nach Norden, und desto größer, je weiter er nach Süden liegt; die Gestirne, welche Nachts den nördlichen Himmel schmücken, rücken desto höher und jene, welche am südlichen Himmel glänzen, desto tiefer, je weiter ein Beobachter nach Norden vordringt, während das Umgekehrte stattfindet, wenn er sich mehr und mehr nach Süden begibt; im letzten Falle steigen zudem vor und nach eine Reihe glänzender Sternbilder über den Horizont, welche dem Bewohner der nördlichen Gegenden stets unsichtbar bleiben. Dabei bleibt aber für alle Orte der Erde die gegenseitige Stellung der einzelnen Sterne mit sehr geringen Ausnahmen ganz und gar dieselbe; Sterne, die für den einen Ort ein Dreieck oder Viereck bilden, zeigen für jeden andern Ort auf der Erdoberfläche ganz genau dieselbe Figur; was sich allein ändert, ist der Platz, den dieselben an der scheinbaren Himmelskugel einnehmen. Die Unveränderlichkeit der gegenseitigen Stellung der Gestirne für die ganze Erde zeigt, daß die Entfernungen der erstern von uns so groß sind, daß in Vergleich mit denselben alle Entfernungen auf der Erde in Nichts verschwinden, weil sonst die verschiedenen Sterngruppen von verschiedenen Punkten der Erde aus auch einen ganverschiedenen Anblick darbieten müßten, ähnlich wie die gegenseitige Stellung zweier Thürme verschieden erscheint, wenn wir sie von verschiedenen Standpunkten aus betrachten. Daß die Sterne aber, ohne ihre gegenseitige Stellung im Geringsten zu ändern, für nördliche und südliche Beobachtungsorte an verschiedenen Stellen, höher oder tiefer auf der Himmelskugel stehen, kann nur darin begründet sein, daß der Horizont dieser verschiedenen Orte selbst ein verschiedener, die Erdoberfläche also auch in der Richtung von Norden nach Süden gekrümmt ist, indem, falls letztere eine Ebene wäre, die Gestirne wegen ihrer vorerwähnten großen Entfernung überall in gleicher Höhe erscheinen müßten. Daraus ferner, daß die genannte Zunahme der Höhe über dem Horizont eine nahezu gleichmäßige ist für solche Orte, welche in der Richtung von Norden nach Süden gleichweit auseinander liegen, geht hervor, daß die Krümmung der Erdoberfläche von Norden nach Süden wenigstens sehr nahe überall eine gleichförmige sein muß.

Ziehen wir demnach aus dem bisher Gesagten das Endresultat, so bestände dieses etwa in Folgendem. Die Erdoberfläche ist an allen Orten und in allen Richtungen wenigstens nahe gleichstark gekrümmt, sie muß also wenigstens nahe und im großen Ganzen die Gestalt einer Kugel haben; jedenfalls sind ihre Abweichungen von der Kugelform in Folge ihrer mannigfachen localen Ungleichförmigkeiten, ihrer Berge und Thäler, im Vergleich zu ihren sonstigen Dimensionen verschwindend klein; ob aber dennoch nicht andere kleinere Abweichungen stattfinden, bleibt vorläufig dahin gestellt.

Eine fernere Beobachtung, welche durch den ausgesprochenen Satz ihre Erklärung findet, ist die, daß bei den Mondfinsternissen die Grenze des erleuchteten und verdunkelten Theiles der Mondscheibe sich stets als ein Kreisbogen darstellt. Wenn man zugibt, wie dieses schon im Alterthume anerkannt war, daß die Verfinsterung des Mondes durch den Erdschatten bewirkt wird, der jenem das Sonnenlicht entzieht, so folgt aus der angeführten Erfahrung fast nothwendig, daß die Gestalt der Erde wenigstens sehr nahe eine kugelförmige sein müsse, indem nur eine Kugel in jeder Lage einen kreisförmigen Schatten werfen kann.

Die Lehre von der Kugelgestalt der Erde war schon im Alterthume von vielen hervorragenden

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Männern angenommen, bei den Griechen unter den Ersten wohl von Aristoteles, der zum Beweise sich bereits darauf beruft, daß der Erdschatten bei den Mondfinsternissen allzeit kreisförmig begrenzt erscheine, und daß Canopus, ein in Griechenland selbst noch nicht sichtbarer glänzender Stern des südlichen Himmels, bei einer Reise nach Aegypten über den Horizont trete.

Derselbe versuchte auch, aber bloß schätzungsweise, die Länge ihres Umfanges festzustellen; er gibt dieselbe zu 400,000 Stadien oder etwa 9000 geographischen Meilen an. Nachher setzte der berühmte Mathematiker Archimedes diese Zahl, ebenso ohne weitere Messungen, auf 300,000 Stadien oder etwa 7000 geogr. Meilen herab, was freilich auch noch viel zu hoch gegriffen war.

Fragen wir uns jetzt zunächst, auf welche Weise man wohl zur Bestimmung der Größe der Erde werde gelangen können. Wir denken uns auf der als kugelförmig vorausgesetzten Erdoberfläche durch den Nord- und Südpol einen beliebigen Kreis gezogen; ein solcher heißt bekanntlich ein Meridian. Wenn also Jemand von irgend einem Orte aus in genau nördlicher oder südlicher Richtung reiste, so würde er sich auf einem Meridiane bewegen. Die Länge eines ganzen Meridianes oder den ganzen Umfang der Erde direct zu messen, ist selbstverständlich schon wegen der vielen Hindernisse, Gebirge und Meere, absolut unmöglich; es ist dieses aber auch nicht nothwendig. Wie bekannt, theilt man einen Kreis in 360 gleiche Theile, Grade genannt; es ist daher, um die Länge des ganzen Erdumfanges oder eines Meridians zu erhalten, nur nöthig, daß man die Länge eines oder einiger Grade desselben wirklich mißt; man braucht dann die für die Länge eines Meridiangrades erhaltene Zahl nur 360 mal zu nehmen, um sogleich die Länge des ganzen Meridians zu erhalten. Daraus ergeben sich dann in einfacher Weise durch Rechnung die Zahlen für die Länge des Halbmessers, die Oberfläche, den Kubikinhalt der Erde u. s. w. Aber woran erkennt man, wie viel Grade des Meridians eine auf einem solchen gemessene Strecke umfaßt? Man bestimmt dieses auf astronomischem Wege. Wir haben schon vorhin darauf hingewiesen, wie für verschiedene, nördlich und südlich gelegene Orte die Sonne und die Sterne nicht an derselben Stelle des Himmels erscheinen; wir wollen dieses jetzt genauer dahin fassen, daß wir sagen, für jeden Grad, um den man sich auf einem Meridian nach Süden begibt, rücken die nach Süden am Himmel leuchtenden Sterne über den Horizont auch einen Grad höher. Wenn also zwei Beobachter an zwei verschiedenen auf einem Meridian liegenden Orten die Höhe messen, welche ein im Süden, stehender d. h. bei seiner scheinbaren täglichen Bewegung zur größten Höhe gelangender Stern am Himmel erreicht, und der eine findet etwa 30°, der andere 28°, so wissen wir, der Standpunkt des letztern liegt zwei Meridiangrade mehr nördlich im Vergleich mit demjenigen des erstern. Ebenso wie die einzelnen Gestirne, ändert auch der Nordpol des Himmels, d. h. derjenige in der Nähe des Polarsternes liegende Punkt, um welchen das ganze Himmelsgewölbe mit Sonne, Mond und Sternen sich in 24 Stunden einmal umzudrehen scheint, für verschiedene Standpunkte auf der Erdoberfläche seine Lage. Ueberhaupt ist die Polhöhe eines Ortes, d. h. die Höhe, welche der Nordpol des Himmels über dem Horizonte des Ortes zeigt, stets gleich seiner geographischen Breite d. h. gleich der Anzahl der Meridiangrade, um welche der betreffende Ort vom Aequator entfernt ist; der Unterschied der Polhöhen zweier Orte ist daher immer gleich dem Unterschiede ihrer geographischen Breiten, oder, falls beide Orte auf einem Meridian liegen, gleich der Anzahl der Grade, welche der zwischen beiden Orten liegende Meridianbogen umfaßt. Für jeden Ort läßt sich nun die Polhöhe astronomisch mit großer Genauigkeit durch verschiedenartige Messungen am Himmel bestimmen. Findet man dann also bei den in Rede stehenden Messungen z. B., daß der eine Endpunkt der auf der Erdoberfläche vermessenen Strecke eine um 2° größere Polhöhe hat wie der andere, so weiß man, daß die gemessene Strecke eben 2 Meridiangrade umfaßt.

Die besprochenen zur Bestimmung der Dimensionen der Erde dienenden Messungen nennt man kurzweg Gradmessungen; sie zerfallen, um das Gesagte noch einmal zusammenzufassen, immer in einen geodätischen und einen astronomischen Theil; in dem geodätischen Theile handelt es sich darum, durch

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

wirkliche Messungen an der Erdoberfläche festzustellen, wie lang in Fuß, Ruthen, Meilen etc. ein bestimmtes Stück des Meridians ist; in dem zweiten astronomischen Theile muß dann weiter durch Messungen am Himmel, nämlich durch Bestimmung der Polhöhen der Anfangs- und Endstation, ermittelt werden, wie viel Grade des Meridians besagtes Stück umfaßt.

Es werden schon aus dem Alterthume zwei von Gelehrten aus der alexandrinischen Schule in dieser Weise ausgeführte Versuche berichtet, die Größe der Erde annäherungsweise zu bestimmen. Den ersten machte Eratosthenes unter der Regierung des Ptolemäus Euergetes; er stützte sich bei demselben auf die folgenden Data. Zur Zeit des Sommersolstitiums spiegelte sich zu Syene in Aegypten die Sonne Mittags im Wasser tiefer Brunnen, sie mußte also um diese Zeit dort gerade senkrecht im Zenith stehen. Um dieselbe Zeit blieb aber in Alexandrien die Sonne den Beobachtungen des Schattens an den Sonnenuhren gemäß noch etwa $7^1/_5$ Grad vom Zenith entfernt; dadurch war der Breitenunterschied beider Städte gegeben. Eratosthenes nahm dann ferner an, daß beide unter demselben Meridian lägen und setzte ihre Entfernung der Schätzung der Karawanen gemäß zu 5000 Stadien an. Dieses war also die Länge von $7^1/_5$ Meridiangraden, woraus für die 360 Meridiangrade oder den ganzen Erdumfang eine Länge von 250,000 Stadien sich ergab. Eine später von Posidonius ausgeführte Bestimmung ergab keine wesentlich besseren Resultate.

Nach dem Untergange der alexandrinischen Schule wurde dann, abgesehen von einem ähnlichen unvollkommenen Versuche der Araber, die Frage nach der Größe der Erde ihrer Lösung auch das ganze Mittelalter hindurch nicht näher gebracht; die Interessen dieser Zeit waren eben anderen Studien zugewandt. Als aber gegen Ende des Mittelalters die großen Entdeckungsreisen der Spanier und Portugiesen begonnen hatten, als speciell durch die von Magelhan ausgeführte erste Erdumsegelung der Satz von der Kugelgestalt der Erde thatsächlich bewahrheitet worden war, mußte auch die Frage nach den Dimensionen der Erde alsbald wieder in ihrer ganzen Wichtigkeit hervortreten, und in der That begannen auch gleich im 16. Jahrhunderte nach dem Wiederaufleben der astronomischen und physikalischen Studien von Neuem die Versuche, jene Frage zur Lösung zu bringen. Ein Franzose, Fernel, maß die Länge eines Meridiangrades zwischen Paris und Amiens, indem er die Anzahl der Umdrehungen eines Wagenrades auf dieser Strecke zählte, woraufhin er dann aus dem gemessenen Umfange des Rades die Länge des durchlaufenen Weges fand. Das Resultat, welches er erhielt, ist in Anbetracht der Unvollkommenheit der angewandten Methode auffallend genau. Ein weniger genaues Resultat erzielte einige Zeit nachher ein Engländer Norwood, der die Länge des Meridianbogens zwischen London und York in höchst mühsamer Weise direct mit der Meßkette bestimmte; den Unterschied der Polhöhen von London und York fand er zu 2°28′ und besaß somit alle zur Ermittelung der Länge eines Meridiangrades erforderlichen Data.

Eine vollständige Umgestaltung der Vermessungsmethode wurde im Anfange des 17. Jahrhunderts durch den holländischen Mathematiker Snellius eingeführt. Wegen der vielen Unregelmäßigkeiten und Hindernisse auf der Erdoberfläche, der Erhöhungen und Vertiefungen derselben allein schon ist es nämlich jetzt wie damals ganz und gar unmöglich, Strecken von so bedeutender Länge, wie dieselben hier in Frage kommen, direct mit hinreichender Genauigkeit zu messen; dagegen sind mit der größten Schärfe, wenigstens in jetziger Zeit vermittelst unserer in so hohem Grade vervollkommneten Instrumente Winkelmessungen ausführbar. Es verfiel daher Snellius zuerst darauf, bloß eine in einem geeigneten Terrain passend gewählte kleinere Standlinie, diese aber dann auch mit der größtmöglichen Genauigkeit, direct zu messen, an diese Standlinie dann fernerhin ein System von Dreiecken anzuschließen, deren Endpunkte natürlich durch weithin sichtbare Gegenstände, wie Thürme und Bergspitzen, deutlich markirt sein müssen, in denen weiter keine Seiten, wohl aber sämmtliche Winkel so genau als möglich gemessen werden. Die Längen der Seiten können dann aus den durch die directe Messung erhaltenen Werthen für die Standlinie und die Winkel durch Rechnung abgeleitet werden; schließlich wird

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

mit Hülfe dieses Dreiecksnetzes die Länge des zwischen den äußersten Punkten desselben enthaltenen Meridianbogens berechnet. Dabei ist auch nicht unumgänglich nothwendig, daß diese äußersten Punkte genau auf demselben Meridian liegen; die Messungen und Rechnungen finden im Wesentlichen ganz in derselben Weise statt, gleichviel ob diese Bedingung genau erfüllt ist oder nicht. Dieses Verfahren der Triangulation spielt seitdem nicht blos bei Gradmessungen, sondern bei allen größern Vermessungen, z. B. zum Zwecke der Anfertigung einer Karte eines Landes, eine hervorragende Rolle.

Der so erzielte Vortheil beruht also auf folgenden zwei Punkten: 1) sind Winkelmessungen leichter, und, was die Hauptsache ist, bei weitem genauer auszuführen als Längenmessungen; 2) die Standlinie, deren directe Messung allerdings nicht umgangen werden kann, ist nur von geringer Länge und kann ganz beliebig gewählt werden; man hat es also ganz in seiner Gewalt, dieselbe an einen möglichst ebenen und günstig gelegenen Ort zu verlegen, der eine hinreichend genaue Messung verstattet. So wurde, um ein Beispiel der Art anzuführen, bei der ältern lappländischen Gradmessung als Standlinie eine auf der Eisdecke des zugefrorenen Flusses Torneå im nördlichen Schweden gezogene Linie benutzt. Diese von Snellius eingeführte Methode der Triangulation ist nun ferner noch im Laufe der Zeit durch Vervollkommnung der Methoden und Instrumente zur Winkelmessung, durch die genaue Berücksichtigung der Ausdehnung der zur Messung der Standlinie angewandten Maßstäbe in Folge der unvermeidlichen Temperaturschwankungen u. s. w. ganz außerordentlich verbessert worden. Ebenso durchgreifende Verbesserungen erfuhr auch bis zu unsern Zeiten hin der zweite, astronomische Theil der bei den Gradmessungen erforderlichen Operationen, dem die Bestimmung der Polhöhen oder geographischen Breiten der Endstationen zufällt, welchem Zwecke man alle Fortschritte der theoretischen und practischen Astronomie dienstbar gemacht hat. Der Erfinder der Triangulationsmethode, Snellius, suchte selbst eine Gradmessung in Holland auszuführen; ein vorläufig von ihm bekannt gemachtes Resultat derselben gibt für die Länge eines Meridiangrades allerdings einen erheblich zu kleinen Werth; er starb aber, ehe er seine Arbeiten gehörig revidiren und vollenden konnte. Die erste genauere Messung wurde dann in den Jahren 1669 und 70 in Frankreich von Picard ausgeführt, der zuerst das Fernrohr mit einem Fadenkreuze bei seinen Winkelinstrumenten anbrachte; seine Messungen wurden fortgesetzt von Lahire und Cassini bis gegen das Jahr 1700.

Mit diesen Messungen traten die Untersuchungen über die Gestalt der Erde in ihr zweites Stadium, indem auf Grund derselben zuerst die Vermuthung ausgesprochen wurde, die Erde sei, wenn auch sehr nahe, so doch nicht absolut genau kugelförmig gestaltet. Man hatte nämlich verschiedene Meridianbogen in verschiedenen Gegenden Frankreichs gemessen; dabei hatten sich aber für die Längen eines Meridiangrades im nördlichen und südlichen Frankreich nicht dieselben Werthe ergeben, woraus die französischen Gelehrten dann den Schluß zogen, daß die Erde nicht ganz genau die Gestalt einer Kugel besitze. Lahire und Cassini glaubten vielmehr annehmen zu müssen, da ihre Messungen die Länge des Meridiangrades im Norden Frankreichs etwas kleiner als im Süden ergeben hatten, daß die Krümmung der Erde vom Aequator nach den Polen zu wachse, woraus sie dann weiter den Schluß zogen, daß der Polarhalbmesser länger als der Halbmesser des Aequators sein, die Erde mithin die Gestalt eines an den Polen verlängerten Sphäroids haben müsse. Um dieselbe Zeit aber begannen auch die theoretischen Untersuchungen über die Gestalt der Erde, von denen nachher noch weiter die Rede sein soll, und der unsterbliche Newton folgerte zuerst aus dem von ihm entdeckten Gesetze der allgemeinen Anziehung und den Gesetzen der Centrifugal- oder Schwungkraft, verbunden mit gewissen Voraussetzungen über den ursprünglichen Zustand sowie die Massenvertheilung im Innern der Erde, daß dieselbe die Gestalt eines an den Polen abgeplatteten elliptischen Sphäroids oder eines abgeplatteten Umdrehungsellipsoids haben müsse, d. h. eines Körpers, dessen Halbmesser vom Aequator nach den Polen zu allmählich abnehmen, und dessen Meridian daher auch kein Kreis ist, sondern vielmehr eine Linie von ovaler Gestalt, die in der Geometrie den Namen Ellipse führt. Für die Größe der Abplat-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

tung fand derselbe den Werth $^1/_{230}$, d. h. nach der Newton'schen Theorie müßte der Polarhalbmesser der Erde um $^1/_{230}$ kleiner sein, als der Halbmesser ihres Aequators.

Dieses von Newton theoretisch abgeleitete Resultat, daß die Erde die Gestalt eines abgeplatteten Ellipsoids haben müsse, stand nun im directen Widerspruche mit demjenigen, welches die französischen Geometer aus ihren Messungen gefolgert hatten, daß nämlich die Erde die Gestalt eines an den Polen verlängerten Ellipsoids habe, wie vorhin bemerkt wurde. Es entspann sich hieraus eine längere Zeit hindurch fortgesetzter Streit zwischen den französischen und englischen Gelehrten über die wahre Gestalt der Erde, in welchem jene sich auf ihre Messungen, diese auf die Theorie beriefen. Indessen gelangte man in Frankreich bald zur Einsicht, daß die in diesem Lande bis dahin angestellten Gradmessungen die Frage nach der wahren Gestalt der Erde nicht endgültig zu entscheiden geeignet seien. Da die Abweichungen der Erde von der Kugelgestalt nämlich auf jeden Fall nicht sehr beträchtlich sein konnten, so mußten auch die Verschiedenheiten, die man möglicherweise in den Längen der Meridiangrade an Orten voraussetzen durfte, die nur einen geringen Breitenunterschied besaßen, nur ganz klein sein, und konnten somit leicht von den kleinen Fehlern, wie sie ganz sicher auch bei den sorgfältigsten Messungen noch immer mit unterlaufen, vollständig verdeckt werden. Es blieb daher auch fraglich, ob die bei den französischen Messungen in den Gradlängen im nördlichen und südlichen Frankreich zu Tage getretenen kleinen Unterschiede wirklich in der Natur begründet seien, oder ob dieselben nicht vielmehr bloß auf kleinen Beobachtungsfehlern beruhten. Das einzige Mittel zur endgültigen Entscheidung der Frage, ob die Erde wirklich nicht genau die Kugelgestalt besitze, und ob sie in diesem Falle ein verlängertes oder ein abgeplattetes elliptisches Sphäroid sei, bestand daher darin, von Neuem Gradmessungen zu veranstalten, und zwar an möglichst weit auseinander gelegenen Orten, die eine im hohen Norden, die andere in der Nähe des Aequators. Denn wenn in der That die Erde irgend merkbar von der reinen Kugelform abwich, so mußten die daraus sich ergebenden Unterschiede in den Längen der Meridiangrade desto größer werden, je verschiedener die geographische Breite der Gegenden war, in welchen die Messungen veranstaltet wurden. Indem man mithin die Länge eines Meridiangrades einmal in einem möglichst nördlich gelegenen Lande, und ein ander Mal möglichst nahe beim Aequator maß, mußte der Unterschied dieser Längen, falls ein solcher überhaupt vorhanden und die Erde also nicht genau kugelförmig war, möglichst groß gefunden werden, und man durfte hoffen, ihn dann so groß zu finden, daß er nicht mehr von den unvermeidlichen Beobachtungsfehlern ganz verdeckt werden konnte. Man faßte also in Frankreich den Entschluß, auf Kosten der Regierung zugleich zwei Expeditionen zur Bestimmung der Länge eines Meridiangrades einerseits in einer dem Aequator nahe gelegenen Gegend und andererseits im hohen Norden zu entsenden. Die erstere wurde ausgeführt von Bouguer und Condamine, denen sich noch mehrere Naturforscher und Techniker anschlossen. Im Jahre 1735 segelten sie nach Südamerika ab, welches Land für ihren Zweck am geeignetsten schien, und bestimmten dann nach ihrer dortigen Ankunft in den Hochebenen von Peru die Länge eines Meridiangrades; die Ausführung der Messungen, welche in jenen Gegenden vielfach mit großen Schwierigkeiten verbunden waren, erforderte einen Zeitraum von etwa zwei Jahren; dafür gilt aber auch diese Gradmessung noch heutzutage als eine der genauesten und wichtigsten. Die zweite Expedition, welche von den französischen Geometern Maupertuis und Clairaut geleitet wurde, ging einige Zeit nachher nach Lappland ab; nachdem sich jenen in Schweden noch der Astronom Celsius angeschlossen hatte, maßen dieselben den Meridianbogen zwischen der nördlich vom Bottnischen Meerbusen gelegenen Stadt Torneä und dem jenseits des nördlichen Polarkreises gelegenen Berge Kittis. Wenn auch diese letztere Messung späterhin bei einer Revision und Wiederholung derselben durch schwedische Astronomen sich als nicht unerheblich fehlerhaft herausgestellt hat, besonders in Folge mangelhafter Correctionen wegen der Temperaturschwankungen, so reichte dieselbe doch in Verbindung mit den früher in Frankreich angestellten und der so eben auch vollendeten peruanischen Messung vollständig hin, sowohl

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

die Existenz als auch die Art der Abweichung der Erde von der Kugelgestalt endgültig festzustellen. Es fand sich nämlich nach diesen Messungen, daß die Meridiangrade im mittlern Frankreich etwa 250 Toisen länger waren als in der Nähe des Aequators und etwa 400 Toisen kürzer, als unter dem nördlichen Polarkreise, welche letztere Zahl freilich nach den Ergebnissen der vorhin erwähnten zweiten lappländischen Messung etwas zu groß ist. Da diese Unterschiede viel größer waren, als daß man sie allein den Beobachtungsfehlern hätte zuschreiben können, so war also jetzt definitiv festgestellt, daß die Länge der Meridiangrade vom Aequator nach den Polen zu stetig zunehme, die Meridiane der Erde mithin nicht genau kreisförmig, und diese selbst nicht genau kugelförmig sein könne. Außerdem war entschieden, eben wegen der Zunahme der Gradlänge nach den Polen hin, daß die Krümmung der Erde vom Aequator nach den Polen abnehmen müsse, und die Gestalt der Erde also, wie Newton und nach ihm die englischen Geometer früher theoretisch erschlossen hatten, im Wesentlichen übereinkommen müsse mit derjenigen eines an den Polen abgeplatteten elliptischen Sphäroids, bei dem der Polarhalbmesser etwas kleiner ist wie der Aequatorialhalbmesser.

Nachdem nun so im Allgemeinen die Gestalt der Erde festgestellt war, handelte es sich darum, die genauen Werthe für die Länge des Polarhalbmessers, des Halbmessers des Aequators und die Größe der Abplattung der Erde, (wegen ihrer Kleinheit das schwierigste Element) zu ermitteln. Wenn die Erde mathematisch genau die Gestalt eines abgeplatteten Ellipsoids hätte, und wenn andererseits die Messungen von Beobachtungsfehlern ganz und gar frei wären, so würde es hinreichen, die Längen zweier, unter verschiedenen Breiten gelegenen Meridiangrade zu kennen, um aus ihnen alle die gesuchten Größen berechnen zu können. Nun fanden sich aber speciell für die Abplattung der Erde ziemlich stark differirende Werthe, wenn man einmal der Berechnung die für die Länge des Meridiangrades in Frankreich und in Peru gefundenen Zahlen zu Grunde legte, ein ander Mal dagegen die Gradlängen in Frankreich und Lappland oder in Peru und Lappland combinirte; zum Beweise, daß, wenn auch durch die bis dahin ausgeführten Messungen die Gestalt der Erde im großen Ganzen und die Art der Abweichung derselben von der Kugelform endgültig festgestellt worden war, diese Messungen, eben wegen der unvermeidlichen Beobachtungsfehler, doch noch nicht hinreichten, um ganz genau die wirkliche Gestalt derselben zu finden und ihre Dimensionen zu berechnen. Es lag darin die Aufforderung, die Zahl der vorhandenen Gradmessungen möglichst zu vervielfältigen, um sich so der endlichen Lösung des Problems immer mehr zu nähern. Demgemäß wurden in der nächstfolgenden Zeit eine ganze Reihe solcher Messungen ausgeführt: in Nordamerika, in Südafrika, in Oesterreich, im Kirchenstaate, in Piemont; indeß alle diese Messungen waren den vorher von Frankreich aus unternommenen durchaus nicht ebenbürtig, und die Wissenschaft hat später alle als nicht mit der nöthigen Sorgfalt und Genauigkeit angestellt und darum unzuverlässig und werthlos beseitigen müssen. Erst gegen Ende des vorigen Jahrhunderts begann für diese Art der wissenschaftlichen Forschung wieder eine bessere Epoche, denn von da ab haben wir eine ganze Reihe vorzüglicher Gradmessungen zu erwähnen; so eine mit ausnehmender Sorgfalt in England ausgeführte, ebenso eine große ostindische, und eine zweite unter dem nördlichen Polarkreise von schwedischen Gelehrten bewerkstelligte. Ganz besonders zu erwähnen ist auch noch die neue französische Messung. Zur Zeit der ersten französischen Revolution, wo man in Frankreich bekanntlich mit so vielem Bestehenden, mochte es gut oder schlecht sein, gründlich aufräumte, kam man auch auf den Gedanken, die bisherigen, willkürlich fixirten Maße abzuschaffen und statt deren ein von der Natur selbst gegebenes Maßsystem einzuführen. Die Grundlage des neuen Maßsystems sollte das Längenmaß werden, und man entschied sich dafür, als Einheit des letztern unter dem Namen Meter den 40-Millionsten Theil der ganzen Länge eines Erdmeridians oder, wie man sich gewöhnlich auszudrücken pflegt, den 10-Millionsten Theil des Erdmeridianquadranten zu nehmen. Zu dem Ende mußte aber die Länge des Erdmeridians genauer bekannt sein, als es wirklich der Fall war, und man faßte deshalb im Jahre 1792,

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

zu einer Zeit, wo die Schreckensscenen der Revolution kaum beendigt waren, den Entschluß, die in der That ungeheure Messung eines Meridians durch ganz Frankreich auszuführen, um dadurch im Verein mit den früher von Frankreich aus in Peru und Lappland angestellten Gradmessungen die Dimensionen der Erde endgültig bestimmen zu können. Die ganze Messung wurde im Jahre 1792 von den berühmten Astronomen Delambre und Mechain begonnen und etwa 15 Jahre später durch Biot und Arago vollendet; dabei wurde der ganze Meridianbogen von der balearischen Insel Formentera bis Dünkirchen am Canal la Manche, der nicht weniger als $12^1/_3{}^0$ beträgt, gemessen. Später wurden dann die Resultate dieser und aller andern bis dahin vorhandenen genaueren Messungen, sowie die auf verschiedenen anderen nachher zu besprechenden Wegen gewonnenen, zur Ermittelung der Gestalt der Erde verwendbaren Ergebnisse von dem großen französischen Mathematiker Laplace zur Bestimmung der Dimensionen der Erde der Berechnung unterworfen, womit dann die länger als ein Jahrhundert mit größter Ausdauer fortgesetzten Arbeiten französischer Gelehrten über das in Rede stehende Problem ihren Abschluß erreichten. —

Späterhin wurden auch von deutschen Astronomen mehrere zwar kleine, aber dafür auch mit vorzüglicher Genauigkeit ausgeführte Gradmessungen veranstaltet; so in Dänemark von Schumacher, in Hannover von Gauß, in Preußen von Bessel, wozu noch die einen sehr bedeutenden Meridianbogen umfassende große russische Messung von Struve kommt, an welcher die Arbeiten bis in die jüngste Zeit fortgesetzt worden sind. Eine Berechnung der Dimensionen des Erdsphäroids aus allen bis dahin vorhandenen genauen Messungen ist vor ungefähr vierzig Jahren von dem verstorbenen hochverdienten Astronomen Bessel in Königsberg nach den strengsten theoretischen Anforderungen ausgeführt worden. Nach derselben ist der Halbmesser des Aequators 859,43 geogr. M., der Radius der Pole dagegen nur 856,56 geogr. M.; der Polarhalbmesser ist also nicht ganz 3 geogr. M. kürzer, als der Aequatorialhalbmesser. Die Abplattung ist $^1/_{299}$, d. h., der Polarhalbmesser ist um den 299. Theil kleiner als der Aequatorialhalbmesser; dabei ist eine geogr. M. gleich 23643 preuß. Fuß gesetzt. Die Abplattung der Erde oder ihre Abweichung von der reinen Kugelgestalt ist dem Gesagten zufolge nur unbedeutend. Denken wir uns zur Veranschaulichung die Erde einmal dargestellt durch einen Globus von ziemlicher Größe, etwa 3 Fuß Durchmesser, so würde, wenn derselbe ganz genau der Erde ähnlich sein sollte, seine Abplattung doch nur etwa $^3/_4'''$ zu betragen brauchen, d. h. sein Polarhalbmesser brauchte nur $^3/_4'''$ kürzer zu sein wie sein Aequatorialhalbmesser, ein Unterschied, der für das Auge vollständig verschwinden würde. —

Wenn einestheils die Messungen von Fehlern durchaus frei wären, andrerseits die Gestalt der Erde ganz genau die eines abgeplatteten elliptischen Sphäroids wäre, so würden, wie schon früher gesagt, zwei Gradmessungen in verschiedenen Breiten zur Feststellung der Gestalt und Größe der Erde hinreichen. Was sich aber in dieser Hinsicht bei den ältesten genauern Messungen herausstellte, hat sich bei allen neuern immer nur bestätigt; wenn man irgend zwei Gradmessungen speciell zur Berechnung der Abplattung der Erde combinirt, so erhält man bei jeder andern Combination für die gesuchte Größe durchweg auch ein etwas anderes Resultat. Daß überhaupt derartige Differenzen bleiben, ist ganz und gar unvermeidlich, weil eben keine Gradmessungen absolut genau sind; aber es läßt sich nicht leugnen, daß die bleibenden Abweichungen in unserm Falle größer sind, als man es bei der großen Umsicht und Ausdauer, womit so viele Gradmessungen ausgeführt worden sind, eigentlich erwarten sollte, und es ist kaum möglich, die zu Tage tretenden Unterschiede einfach den Beobachtungsfehlern im gewöhnlichen Sinne zuzuschreiben, d. h. anzunehmen, daß jene Unterschiede bloß von Fehlern herrühren, die ihren Grund in der Unvollkommenheit der bei den Messungen angewandten Instrumente oder in der Ungenauigkeit der Ausführung der Messungen selbst haben sollten. Bei Annahme der von Bessel berechneten Werthe für die Dimensionen der Erde muß man für die bei einzelnen Gradmessungen gefundenen Gradlängen Fehler bis zu etwa 600′ voraussetzen; da die mittlere Länge eines Meridiangrades nahe 15

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

geogr. Meilen beträgt, so steigen demnach die größten der bei den Messungen vorgekommenen Fehler auf nahe $^1/_{600}$ der gemessenen Größen selbst. Daß aber in der That solche Fehler vorgekommen seien, liegt bei der Vorzüglichkeit der benutzten Instramente und bei der äußersten auf die Messungen verwandten Sorgfalt wohl außer aller Wahrscheinlichkeit. Demnach ist die Annahme fast unvermeidlich, daß physische Gründe obwalten, welche die Erreichung einer bessern Uebereinstimmung zwischen den einzelnen Gradmessungen bisher hinderten und darum voraussichtlich auch immer hindern werden.

Ein erster Erklärungsversuch der bei den verschiedenen Gradmessungen hervorgetretenen Unterschiede, die nicht von der ellipsoidischen Form der Erde herrühren können, läge in der Annahme, daß die Erde, wenn auch zwar sehr nahe, so doch nicht ganz genau die Gestalt eines abgeplatteten elliptischen Sphäroids habe. Auf diesen Gegenstand werden wir nachher noch einmal zurückkommen, wollen indeß jetzt schon bemerken, daß sich in dieser Weise doch nicht füglich alle in den Gradmessungen bemerkten Unregelmäßigkeiten erklären lassen; denn diese zeigen sich sogar zwischen den verschiedenen Theilen des bei derselben Messung bestimmten Meridianbogens, wie z. B. bei der großen französischen Messung. Es ist aber doch wohl kaum anzunehmen, daß auf verhältnißmäßig so geringen Entfernungen die Erdoberfläche so merkliche Unregelmäßigkeiten ihrer mittleren Gestalt aufweisen sollte. Am wahrscheinlichsten verdanken die in Rede stehenden Unterschiede ihren Ursprung geringen, im astronomischen Theile der Gradmessungen liegenden Ungenauigkeiten. Die Bestimmung der Polhöhe eines Ortes ist nämlich, mag dieselbe wie auch immer ausgeführt werden, jederzeit abhängig von der Richtung des Bleilothes oder der Verticallinie an dem betreffenden Orte. Wenn daher die wirkliche Richtung des Bleilothes an einem Orte von ihrer normalen Lage, wie sie der mittlern Gestalt der Erde entsprechen würde, eine unregelmäßige locale Abweichung zeigt, so muß nothwendig die Bestimmung der Polhöhe dieses Ortes um eben dieselbe Größe fehlerhaft werden, und eine solche Fehlerquelle ist auch durch keine Vervollkommnung der Instrumente und Messungsmethoden je zu heben, eben weil dieselbe nicht in den Instrumenten oder dem Beobachter, sondern in der ungleichförmigen Constitution der Erde selbst ihren Grund hat. Setzte man bei Annahme der von Bessel berechneten Dimensionen der Erde voraus, daß die dann in einzelnen Gradmessungen übrig bleibenden Fehler ganz allein von unrichtigen Bestimmungen der Polhöhen herrühren, so müssen bei den Messungen an einzelnen Stationen die Polhöhen um Größen bis zu 6″ fehlerhaft bestimmt worden sein. Daß aber in Folge unregelmäßiger localer Ablenkung des Bleilothes von der wahren Verticallinie solche Fehler vorkommen können, ist durchaus nicht unwahrscheinlich. Die Schwerkraft, welche dem Bleilothe seine Richtung gibt, ist die Resultirende aus den Anziehungen aller Theilchen des ganzen Erdkörpers auf jenes, und wenn darum an einem Orte in den der Oberfläche zunächst liegenden Schichten des Erdinnern die Massen sehr ungleichförmig vertheilt sind, so wird der Fall eintreten können, daß die Richtung des Bleilothes von der wahren Verticallinie des Ortes abweicht. Denken wir uns z. B., daß von besagtem Orte aus gerechnet nach Norden zu in den obern Schichten des Erdkörpers viel dichtere und schwerere Gesteinsmassen vorhanden wären, als nach Süden hin, so würde durch die Anziehung jener Gesteinsmassen, die zwar im Vergleich mit der von der ganzen Erde ausgehenden jedenfalls sehr klein ist, aber doch nicht geradezu verschwindend klein zu sein braucht, das Bleiloth nothwendig eine, freilich äußerst geringe, Ablenkung nach Norden zeigen. Solche unregelmäßige Ablenkungen des Bleilothes bis 12 und mehr Secunden sind in der Nähe großer Gebirge in Folge der von diesen ausgehenden localen Anziehung vielfach constatirt worden, und daß dieselben, wenn auch nur in geringerem Maßstabe, auch in ganz ebenen Gegenden in Folge ungleichförmiger Massenvertheilung in den oberen Schichten der Erde vorkommen können, muß daher wenigstens als sehr wahrscheinlich bezeichnet werden. Diese Annahme über die Quelle der bei den Gradmessungen hervorgetretenen unregelmäßigen Unterschiede wird durch den Umstand noch wahrscheinlicher gemacht, daß, wie sich bei den Pendelbeobachtungen gezeigt hat, die Intensität der Schwerkraft allerdings merklich durch

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

die Ungleichförmigkeit der obern Erdschichten beeinflußt wird. Wenn dieses nun für die Intensität der Schwere gilt, so wird es aller Wahrscheinlichkeit nach auch von ihrer Richtung gelten.

Wegen der in Rede stehenden, unvermeidlichen Fehlerquelle bei den Gradmessungen können die Dimensionen der Erde auch immer nur aus einer größern Anzahl solcher Messungen mit Genauigkeit bestimmt werden. Wenn das Bleiloth z. B. an dem einen Orte etwas nach Norden oder Osten abgelenkt wird, so wird es an einem andern Orte etwas nach Süden oder Westen abgelenkt werden müssen, und je größer daher die Anzahl der vorhandenen Gradmessungen ist, und in je verschiedenern Gegenden sie ausgeführt worden sind, desto mehr wird es wahrscheinlich, daß in Folge der vorgekommenen Fehler die Resultate der Messungen ungefähr eben so oft etwas zu klein als etwas zu groß ausgefallen sind, und daß daher, wenn eine größere Anzahl von Messungen zur Berechnung der Dimensionen der Erde zusammengefaßt wird, die in den einzelnen vorhandenen Fehler sich im Schlußresultat wenigstens nahezu gegenseitig aufheben. Das einzige Mittel also, sich der Wahrheit immer mehr zu nähern und ein von unvermeidlichen Beobachtungs- und Messungsfehlern möglichst freies Resultat zu erhalten ist hier wie überall in den Naturwissenschaften die Vervielfältigung der Beobachtungen und Messungen. Zudem kann begreiflicherweise bei der Berechnung der Dimensionen der Erde auf die Unregelmäßigkeiten ihrer Oberfläche in Folge der Erhebung der Continente und der Vertiefung des Meeresbodens keine Rücksicht genommen werden; es sind vielmehr alle Gradmessungen auf das Niveau des Meeres reducirt, und ist demgemäß die Berechnung auf die Ermittelung der Dimensionen eines mittlern Erdsphäroids gerichtet, welches wir uns etwa dadurch veranschaulichen können, daß wir uns das gesammte Festland der Erde überall von Kanälen durchzogen denken, die allseits in das Meer ausmünden. Die Oberfläche des Meeres selbst und des Wassers in diesen Kanälen versinnbildet uns dann das mittlere Erdsphäroid. In dieser Weise sind die früher angestellten, von Bessel berechneten Werthe für die Dimensionen der Erde, oder bestimmter des mittlern Erdsphäroids, berechnet, und es ist wohl nicht wahrscheinlich, daß die von ihm gefundenen Zahlen in Zukunft, wenn noch mehr Gradmessungen ausgeführt sind und der Berechnung also zu Grunde gelegt werden können, einigermaßen erhebliche Aenderungen erfahren werden. —

Die bisher besprochenen Gradmessungen sind als der directe Weg zur Erforschung der Gestalt und Größe der Erde zu bezeichnen; außer ihnen gibt es aber auch noch mehrere andere, indirecte Wege, auf denen man zwar nicht die absoluten Dimensionen der Erde, aber doch das wegen seiner Kleinheit schwierigste der gesuchten Elemente, nämlich ihre Abplattung, zu bestimmen versucht hat. Namentlich die eine dieser indirecten Methoden zur Bestimmung der Gestalt der Erde wollen wir im Folgenden noch unserm Verständnisse etwas näher zu bringen suchen.

Es ist eine bekannte Thatsache, daß die Länge des Secundenpendels und demnach die Intensität der Schwere vom Aequator nach den Polen hin allmählich zunimmt. Diese Zunahme rührt her theils von der Axendrehung der Erde und der dadurch erzeugten Schwungkraft, die am Aequator der Schwere am meisten entgegenwirkt, theils aber auch von der abgeplatteten Gestalt der Erde. Der von der Verminderung der Schwere durch die Centrifugalkraft herstammende Theil jener Zunahme der Schwere vom Aequator nach den Polen zu ist durch Rechnung leicht zu bestimmen; der übrig bleibende Theil ist dann also durch die abgeplattete Gestalt der Erde verursacht, und es fragt sich nun, ob man nicht umgekehrt aus jener Zunahme der Schwere oder der Länge des Secundenpendels auf die Größe der Abplattung der Erde zurückschließen könne. Wenn durch die ganze Erde hindurch die Massen gleichförmig vertheilt wären, und demnach die Erde als ein homogenes, elliptisches Sphäroid vorausgesetzt werden dürfte, so würde die Lösung der angedeuteten mathematischen Aufgabe keiner Schwierigkeit unterliegen. Nun ist aber besagte Voraussetzung, daß die die Erde zusammensetzenden Massen homogen, d. h. überall von gleicher Dichtigkeit seien, ganz entschieden unrichtig; es steht vielmehr als über allem Zweifel erhaben fest, daß die tiefer im Innern der Erde befindlichen Massen eine weit größere Dichtigkeit besitzen müssen, als die in der Nähe der

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Oberfläche befindlichen, uns erreichbaren Theile, und damit fällt die angedeutete Berechnungsweise der Abplattung der Erde von selbst weg. Man hat nach verschiedenen Methoden die mittlere Dichtigkeit der Erde bestimmt; allerdings sind die diesen Bestimmungen zu Grunde liegenden Beobachtungen und Messungen äußerst schwierig, und es kann daher gar nicht Wunder nehmen, daß die erhaltenen Resultate nicht ganz genau mit einander übereinstimmen. Die Resultate der zuverlässigsten unter diesen Bestimmungen kommen aber doch so nahe überein, daß es als ausgemacht gelten muß, daß die mittlere Dichtigkeit der Erde reichlich $5^1/_2$ mal so groß ist als diejenige des Wassers, d. h. die Erde wiegt mindestens $5^1/_2$ mal so viel, als eine gleich-große Wasserkugel wiegen würde. Die Dichtigkeit der obern, uns zugänglichen Erdschichten ist nun aber viel kleiner, als die gefundene mittlere Erddichte; sie ist im Durchschnitt nur etwa die $2^1/_2$-fache des Wassers. Daraus folgt naturnothwendig, daß die Dichtigkeit der innern, uns unbekannten Schichten der Erde die mittlere Dichtigkeit derselben noch beträchtlich übertreffen, demnach noch erheblich größer sein müsse als die $5^1/_2$-fache des Wassers, so daß die Dichtigkeit der im tiefen Innern der Erde enthaltenen Stoffe mindestens ebenso groß sein muß, wie die der gewöhnlich im Leben zur Verwendung kommenden Metalle. Auf diesen Satz, daß die innern Schichten der Erde aus weit dichtern und schwerern Stoffen zusammengesetzt sein müssen, als die an ihrer Oberfläche liegenden, sowie auf den angeführten ungefähren Werth der mittlern Dichtigkeit der Erde beschränkt sich aber auch so ziemlich Alles, was wir von der Massenvertheilung in deren Innerm wissen; in welchem Verhältnisse die Dichtigkeit der Erde von der Oberfläche nach dem Mittelpunkte zunimmt, ist uns zur Zeit ganz unbekannt und wird auch wohl für immer unbekannt bleiben. Die Aenderung der Schwere an der Erdoberfläche hängt nun aber, wenn die Erde nicht ein homogenes, elliptisches Sphäroid ist, nicht mehr blos von der Abplattung derselben ab, sondern auch von der Art der Massenvertheilung im Innern, und da letztere dem Gesagten gemäß unbekannt ist, so ist auch eine Berechnung des Werthes für die Abplattung der Erde bloß auf Grund der bekannten Aenderung der Schwere an ihrer Oberfläche ohne jedwede anderweite Voraussetzung unmöglich. Ich sage, ohne jedwede andere Voraussetzung; denn die Sachlage gestaltet sich ganz anders, und die in Rede stehende Berechnung wird ausführbar, wenn man noch eine gewisse sonstige, höchst wahrscheinliche Voraussetzung zu Hülfe nimmt, und diese Annahme besteht nun darin, daß die ganze Erde einmal flüssig gewesen sei und darum auch jetzt noch nach der Erstarrung eine Gestalt besitze, wie sie den Gesetzen des Gleichgewichtes flüssiger Körper entspricht. Eine flüssige Masse, in welcher die Theilchen schon durch ganz geringe Kräfte verschoben werden können, kann im Gleichgewichtszustande nicht eine jede beliebige Gestalt aufweisen; ihre Form ist vielmehr durch die auf dieselbe einwirkenden Kräfte vollkommen bestimmt. Es wird somit begreiflich, wie auch die Gestalt der Erde, vorausgesetzt, daß diese sich ursprünglich einmal in einem flüssigen Zustande befunden, durchaus keine zufällige sein kann, wie dieselbe vielmehr mit den sonstigen Verhältnissen der Erde, mit den an ihren einzelnen Theilchen wirkenden Kräften, in einem ganz bestimmten, näher zu erforschenden Zusammenhange stehen muß. Die Kräfte aber, die allein auf die Gestalt der Erde bestimmend eingewirkt haben können, sind die gegenseitige Anziehung aller Theile derselben und die aus ihrer Axendrehung hervorgehende Centrifugalkraft. Es tritt somit die Untersuchung der Gleichgewichtsgestalten, welche rotirende flüssige Körper unter dem Einflusse der allgemeinen Massenanziehung aufweisen können, als ein Problem von eminenter Wichtigkeit für die Erforschung der Gestalt der Erde hervor. Dieses Problem ist ein rein mathematisches und seine weitere Verfolgung nicht möglich ohne sehr erhebliche mathematische Kenntnisse. Wir müssen uns daher ganz darauf beschränken, im Allgemeinen einige Resultate kennen zu lernen, zu denen die exacten wissenschaftlichen Untersuchungen geführt haben und die für unsern Gegenstand von besonderer Bedeutung sind. Denken wir uns zuerst eine homogene flüssige Masse, d. h. also eine solche, deren Dichtigkeit in jedem Punkte die gleiche ist, und setzen wir ferner voraus, daß ihre Theilchen sich gegenseitig nach dem von Newton entdeckten Gesetze anziehen; sie wird

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

im Ruhezustande nothwendig die Gestalt einer Kugel annehmen. Lassen wir dieselbe aber jetzt mit einer verhältnißmäßig kleinen Winkelgeschwindigkeit sich um einen Durchmesser als Axe drehen, so flacht ihre Oberfläche sich sofort an den Polen ab und nimmt, wenn der Zustand stationär geworden ist, nothwendig die Gestalt eines abgeplatteten elliptischen Sphäroids an. Denken wir uns speciell als rotirende flüssige Masse die Erde, so müßte dieselbe bei einer solchen Rotationsgeschwindigkeit wie sie ihr wirklich zukommt, bei der also eine ganze Umdrehung in 24 Stunden vollendet wird, die Gestalt eines an den Polen abgeplatteten Umdrehungsellipsoids aufweisen, für dessen Abplattung die Theorie den Werth $^1/_{230}$ liefert, d. h. der Polarhalbmesser müßte um den 230. Theil kleiner sein als der Aequatorialhalbmesser. Dieses Resultat wurde schon von Newton gefunden, und seine theoretischen Untersuchungen hierüber waren es eben, auf welche im Anfange des vorigen Jahrhunderts er und seine Landsleute in dem Streite mit den französischen Mathematikern sich beriefen, als letztere aus den ersten, weniger genauen und zu wenig ausgedehnten Gradmessungen irrthümlich eine an den Polen verlängerte Gestalt der Erde abgeleitet hatten, wie dieses früher erwähnt wurde. Die späteren, genaueren Gradmessungen haben im Allgemeinen zu Gunsten Newton's entschieden; indessen stimmt der auf die vorhin angedeutete Weise theoretisch für die Abplattung der Erde berechnete Werth, $^1/_{230}$, nicht mit der Wirklichkeit überein, indem ja die Gradmessungen denselben bedeutend kleiner, zu $^1/_{299}$, ergeben haben. Der Grund dieser Differenz liegt klar zu Tage; bei dem Problem, wie es vorhin gefaßt wurde, ward nämlich die ganze Erdmasse als homogen, als überall von gleicher Dichte, vorausgesetzt, welche Voraussetzung indeß in unserm Falle ganz sicher nicht zutrifft, da nach dem früher Gesagten die Dichtigkeit der Erde von der Oberfläche nach dem Mittelpunkte zu zweifelsohne sehr bedeutend zunehmen muß. Es muß daher auch das zu lösende Problem viel allgemeiner gefaßt und die Gleichgewichtsfigur einer rotirenden flüssigen Masse gesucht werden, deren Dichtigkeit von der Oberfläche nach dem Mittelpunkte hin beliebig sich ändert. In der angedeuteten Weise wurde dasselbe zuerst von dem französischen Astronomen Clairaut behandelt, zum Abschlusse gebracht aber durch den großen französischen Mathematiker Laplace. Das Resultat ihrer tiefsinnigen Untersuchungen besteht darin, daß auch dann noch die Oberfläche der Erde ein an den Polen abgeplattetes, elliptisches Sphäroid sein muß, dessen Abplattung aber kleiner ist als sie im Falle der Homogenität sein würde. Ebenso müssen die Grenzflächen der verschiedenen, ungleich dichten Schichten, aus denen die Erdmasse besteht, sämmtlich abgeplattete Sphäroide sein, deren Abplattung nach dem Mittelpunkte zu immer mehr abnimmt. Die Abplattung der Oberfläche hängt von der nicht näher bekannten Art und Weise ab, wie die Dichtigkeit nach dem Mittelpunkte zunimmt, kann aber, trotzdem das Gesetz dieser Zunahme nicht bekannt ist, und welches dieses Gesetz auch sein möge, berechnet werden, sobald die Zunahme der Schwere an der Oberfläche vom Aequator nach den Polen hin bekannt ist. Damit knüpfen wir an unsere frühern Erörterungen wieder an; wir sahen früher, daß die Zunahme der Schwere vom Aequator nach den Polen hin mit der Abplattung der Erde im Zusammenhange stehe, daß aber trotzdem letztere nicht aus der erstern berechnet werden könne, weil die Art der Massenvertheilung im Innern der Erde oder das Gesetz der Dichtigkeitszunahme nach dem Mittelpunkte hin nicht bekannt ist. Wir sahen so eben ferner, wie die Gestalt oder speciell die Abplattung der Erde, falls diese sich ursprünglich einmal in flüssigem Zustande befunden, mit ihrer Axendrehung im Zusammenhange stehen müsse, daß aber auch daraufhin die Abplattung sich nicht berechnen lasse, weil eben wieder die Art der Massenvertheilung in ihrem Innern unbekannt ist. Nimmt man nun aber beides zusammen, setzt man also die Gestalt der Erde als eine solche voraus, bei welcher dieselbe, flüssig gedacht, sich im Gleichgewichte befände, und nimmt man außerdem die Aenderung der Schwere an ihrer Oberfläche vom Aequator nach den Polen hin als bekannt an, so läßt sich den Untersuchungen von Clairaut und Laplace gemäß die Abplattung der Erde theoretisch bestimmen, welches auch immer das unbekannte Gesetz ihrer Dichtigkeitszunahme nach dem Mittelpunkte zu sein möge. Dieses Resultat der

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

besprochenen Theorie, daß man die Abplattung der Erde bloß aus dem Unterschiede der Schwere am Aequator und an den Polen berechnen kann, ohne die Art der Massenvertheilung in ihrem Innern zu kennen, falls nur ihre Gestalt eine solche ist, bei welcher sie auch im flüssigen Zustande sich im Gleichgewichte befinden würde, darf wohl als eines der merkwürdigsten und wichtigsten betrachtet werden, welche die mathematische Physik bisheran ergeben hat. Es ist also dem Gesagten zufolge, um die Abplattung der Erde theoretisch bestimmen zu können, nur nöthig, daß die Zunahme der Schwere vom Aequator nach den Polen hin mit möglichster Genauigkeit gemessen werde. Es ergibt sich aber die Intensität der Schwere an irgend einem Orte durch Bestimmung der Länge des Secundenpendels an demselben. Wäre diese Bestimmung ohne alle und jede Beobachtungsfehler ausführbar, und wäre ebenso die Aenderung der Schwere selbst unbedingt regelmäßig und von allen localen Störungen frei, so würde die Kenntniß der Länge des Secundenpendels an zweien, unter verschiedenen Breitegraden gelegenen Orten hinreichen, um daraus die Zunahme der Schwere vom Aequator nach den Polen berechnen zu können. Nun sind aber auch die vorzüglichsten Versuche über die Länge des Secundenpendels an verschiedenen Orten noch immer mit freilich sehr kleinen Ungenauigkeiten behaftet; andrerseits ist auch, wie sich eben durch die Pendelbeobachtungen herausgestellt hat, die Aenderung der Schwere an der Erdoberfläche in Folge der Anziehung der obern Schichten, in welchen eine sehr ungleichförmige Massenvertheilung statthat, keine ganz regelmäßige, es ist vielmehr, wie dies die Versuche ganz entschieden ergeben haben, die Intensität der Schwere an jedem Orte, wenn auch nur in sehr geringem Grade, von localen Umständen abhängig. Um daher sowohl die Fehler, welche in der Unvollkommenheit der Instrumente und im Beobachter ihren Grund haben, als auch die Abweichungen, die in der unregelmäßigen Constitution der Erde selbst begründet sind, für das Endresultat möglichst unschädlich zu machen, bleibt wieder nichts Anderes übrig, als die Beobachtungen zu vervielfältigen, oder die Länge des Secundenpendels für möglichst viele und möglichst verschieden situirte Orte in den verschiedenen Welttheilen zu bestimmen; denn je mehr derartige Messungen der Rechnung zu Grunde gelegt werden, desto wahrscheinlicher werden die den einzelnen anklebenden Ungenauigkeiten, vermöge deren die Länge des Secundenpendels bald ein wenig zu groß, bald etwas zu klein gefunden worden ist, sich im Schlußresultate ganz oder doch nahezu ausgleichen. Solche Messungen der Länge des Secundenpendels sind nun auch in der That in sehr großer Anzahl, namentlich von den Franzosen und Engländern, bis in die neueste Zeit hinein an den verschiedensten Orten der Erde mit den besten Instrumenten und Aufbietung aller möglichen Sorgfalt angestellt worden. Die einzelnen Beobachtungswerthe sind dann zur Ausgleichung der in ihnen noch vorhandenen unvermeidlichen Beobachtungsfehler der Rechnung unterworfen worden, und daraus haben dann die normalen Werthe für die Intensität der Schwere am Aequator und an den Polen, wie sie beim Fehlen aller localen Störungen auftreten würden, mit großer Zuverlässigkeit und Genauigkeit abgeleitet werden können. Die so gefundenen Zahlen lassen nun aber nach der Theorie von Clairaut und Laplace die Größe der Abplattung der Erde berechnen, und in dieser Weise findet sich hierfür der Werth $^1/_{292}$. Es weicht derselbe von dem durch die Gradmessungen erhaltenen, $^1/_{299}$, so wenig ab, daß man in Ansehung der Kleinheit der Abplattung überhaupt und der großen Schwierigkeit der meisten den Rechnungen zu Grunde liegenden Messungen, sowie der vielen localen störenden Einflüsse, welche die Genauigkeit derselben beeinträchtigen, die Uebereinstimmung beider in der That bewundern muß. —

Kommen wir jetzt noch einmal auf die Voraussetzung des ehemaligen flüssigen Zustandes der Erde zurück, welche der Berechnung der Abplattung aus den Pendelbeobachtungen zu Grunde liegt, und fragen uns nach dem Grade der Wahrscheinlichkeit jener Annahme. Ich verzichte dabei ganz auf die Erörterung der geologischen Seite dieser Frage und weise bloß auf folgende drei Punkte hin: 1) Es ist dem Frühern gemäß eine erwiesene Thatsache, daß die Dichtigkeit der Erde nach dem Mittelpunkte hin

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

sehr beträchtlich zunehmen muß. Diese Dichtigkeitszunahme ist nun sofort verständlich, wenn wir annehmen, daß die Erde sich einst in einem ganz flüssigen Zustande befand, indem sich dann nothwendig die schwersten und dichtesten Massen zunächst um den Mittelpunkt lagern, die leichtern Stoffe sich an die Oberfläche begeben mußten; ohne Voraussetzung des einstmaligen, flüssigen Zustandes der Erde bleibt dagegen jene Dichtigkeitszunahme ganz unerklärt. 2) Die sehr befriedigende Uebereinstimmung der auf Grund der in Rede stehenden Voraussetzung aus den Pendelbeobachtungen berechneten Abplattung der Erde mit dem durch die Gradmessungen direct gefundenen Werthe für diese Größe ist ein, man darf wohl sagen, fast beweisender Grund für die Richtigkeit jener Annahme. Also nicht dadurch, daß die Erde überhaupt irgend eine Abplattung hat, wird bewiesen, daß dieselbe sich ursprünglich einmal in einem flüssigem Zustande befunden, sondern dadurch, daß sie sehr genau grade die Abplattung besitzt, die sie bei Voraussetzung des ehemaligen, flüssigen Zustandes besitzen muß. 3) Die Beweiskraft dieses Argumentes wird durch folgenden Umstand noch sehr erhöht. Die nicht gar zu kleinen oder allzu weit entfernten Planeten lassen nämlich im Fernrohr deutlich ihre Kugelgestalt und Axendrehung erkennen, letztere durch die regelmäßige Bewegung verschiedener auf denselben erscheinender Flecken. Die hierin sich kundgebende Aehnlichkeit mit der Erde geht aber noch weiter, indem speciell die drei größten Planeten, Jupiter, Saturn und Uranus in hinreichend mächtigen Fernröhren sich als nicht genau kugelförmig, sondern als an den Polen abgeplattete, elliptische Sphäroide erkennen lassen, ganz wie die Erde, nur mit dem Unterschiede, daß ihre Abplattung bei weitem bedeutender ist, als die der letztern. So ist dieselbe bei Jupiter etwa $^1/_{15}$, bei Saturn und Uranus noch größer, etwa $^1/_{10}$; d. h. beim Jupiter ist der Polarhalbmesser um $^1/_{15}$, und bei Saturn und Uranus um $^1/_{10}$ kleiner als der Aequatorialhalbmesser. Hätte unsere Erde eine eben solche Abplattung wie z. B. der Planet Jupiter, so würde der Unterschied zwischen ihrem Polar- und Aequatorialhalbmesser nicht etwa 3 Meilen betragen, wie es factisch nahe der Fall ist, sondern volle 57 Meilen; beim Jupiter ist freilich, weil derselbe die Erde an Größe weit übertrifft, dieser Unterschied noch viel größer, sein Polarhalbmesser ist fast anderthalb tausend Meilen kürzer als sein Aequatorialhalbmesser. Woher nun diese starke Abplattung bei jenen Planeten? Bei der Erde haben wir die Abplattung als eine Folge der aus der Axendrehung entstehenden Schwungkraft angesehen, die in Verbindung mit der Anziehung der Theilchen in dem angenommenen ehemaligen, flüssigen Zustande ihr die sphäroidische Gestalt verlieh. Uebertragen wir dieses auf die andern Planeten, so müssen dieselben eine desto stärkere Abplattung zeigen, je größer auf ihnen die Schwungkraft, je rascher also ihre Axendrehung ist; und in der That zeigen auch die Fleckenbeobachtungen, daß die genannten, drei stark abgeplatteten Planeten, Jupiter, Saturn und Uranus, eine im Vergleich zu ihrer Größe ganz erstaunlich rasche Axendrehung haben, da dieselben zu einer Umdrehung nur etwa 9—10 Stunden brauchen, also viel weniger als die im Vergleich mit ihnen klein zu nennende Erde. Dahingegen besitzen die innern, mittelgroßen Planeten, Mars, Venus, Merkur, eine Axendrehung, die jener der Erde nahe gleich kommt; die Richtigkeit unserer Theorie vorausgesetzt, kann daher auch ihre Abplattung von derjenigen der Erde nicht sehr verschieden sein. Eine derartig kleine Abplattung muß aber der großen Entfernung wegen auch in dem vorzüglichsten Fernrohre ganz unmerkbar sein, und dieses findet sich auch in der That bestätigt; jene langsam rotirenden Planeten lassen keine für uns wahrnehmbare Abplattung erkennen. Dieses Zusammentreffen zwischen rascher Axendrehung und starker Abplattung, langsamer Axendrehung und verschwindender Abplattung bei den Planeten weist unverkennbar auf einen ursächlichen Zusammenhang beider Erscheinungen hin; soll aber speciell die wahrgenommene, starke Abplattung der obern Planeten eine Folge ihrer großen Umdrehungsgeschwindigkeit sein, so müssen dieselben entweder noch jetzt in einem flüssigen Zustande sich befinden oder doch einstmals in einem solchen sich befunden haben, wodurch dann auch mit um so größerer Gewißheit der ehemalige, flüssige Zustand von unserer Erde behauptet werden kann. —

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Noch auf zwei andern, rein astronomischen Wegen hat man die Abplattung der Erde zu bestimmen gesucht. Weil dieser Gegenstand sich jedoch nur schwer dem allgemeinen Verständnisse würde zugänglich machen lassen, soll derselbe nur kurz berührt werden.

1) Die Anziehung der Sonne und des Mondes auf die Erde bewirken wegen der sphäroidischen Gestalt der letztern eine gewisse, in einem Zeitraume von etwa 26000 Jahren verlaufende Drehung der Erdaxe, die nicht vorhanden sein würde, falls die Erde genau kugelförmig wäre. Eine Folge hiervon ist die schon den Alten bekannte Präcession der Aequinoctien. Besagte Bewegung der Erdaxe ist aber keine ganz gleichförmige, sie zeigt vielmehr regelmäßig wechselnde Ungleichförmigkeiten, deren Periode etwa 18 Jahre beträgt, und die von einer in einer gleichen Periode verlaufenden Aenderung der Lage der Mondbahn herrühren. Man bezeichnet die letztern Erscheinungen als Nutation der Erdaxe. Da die Präcession und Nutation durch die sphäroidische Gestalt der Erde bedingt sind, so hat man versucht, aus genauen Beobachtungen derselben auf diese einen Rückschluß zu machen. So fand z. B. Lindenau auf Grund einer sehr großen Anzahl von Beobachtungen des Polarsternes hierfür den Werth $^1/_{316}$; daß derselbe ein wenig zu klein ist, kann bei der Unsicherheit einzelner der Berechnung zu Grunde liegender Daten nicht besonders auffallen.

2) Die zweite rein astronomische Bestimmung der Abplattung der Erde ist auf die Mondbeobachtungen gegründet. Wenn der Mond allein der Anziehung der Erde unterläge, und zudem beide Himmelskörper genau kugelförmig wären, so würde die Bahn, welche der Mond um die Erde beschreibt, ganz exact eine Ellipse sein, in deren einem Brennpunkte sich die Erde befände. Durch die Anziehung der Sonne namentlich und in ganz geringem Maße auch durch die der übrigen Planeten erleidet aber diese rein elliptische Bahn sehr bedeutende Modificationen, welche die genaue Bestimmung der Mondbewegung zu einem äußerst verwickelten Problem machen. Zu diesen soeben angedeuteten Ungleichheiten der Mondbewegung kommen dann noch mehrere sehr kleine andere hinzu, die ihren Grund in der Abweichung der Erde von der Kugelgestalt haben, durch welche die von ihr auf den Mond ausgeübte Anziehung um ein Geringes modificirt wird. Laplace war es, der diese Ungleichheiten zuerst auffand, und indem er aus den genauesten Mondbeobachtungen seiner Zeit die Größe derselben entnahm, konnte er dadurch auf ihren Grund, die Abweichung der Erde von der Kugelform, zurückschließen; er berechnete so die Abplattung der Erde zu $^1/_{306}$. Unter Zugrundelegung der Mondbeobachtungen der Neuzeit bestimmte ein hochverdienter deutscher Astronom, Hansen, die Abplattung der Erde in derselben Weise, letztere zu $^1/_{296}$, welcher Werth mit den durch die Gradmessungen und Pendelbeobachtungen erhaltenen, resp. $^1/_{299}$ und $^1/_{292}$, in wahrhaft überraschender Weise übereinstimmt. Somit läßt derselbe Mond, welcher durch die kreisförmige Begrenzung des auf ihn fallenden Erdschattens dem Menschen schon in alter Zeit die ungefähre Kugelgestalt der Erde zur Anschauung brachte, auf Grund eines genauen Studiums seiner Bewegung auch die Abweichung der Erde von der Kugelgestalt nicht nur im Allgemeinen erkennen, sondern sogar ihrer Größe nach mit vorzüglicher Schärfe berechnen; wenigstens war Laplace geneigt, der aus der Mondbewegung abgeleiteten Abplattung vor allen andern wegen der großen Genauigkeit der astronomischen Beobachtungen den Vorzug zu geben.

Kommen wir jetzt noch einmal mit einigen Worten auf die früher schon angeregte Frage zurück über den Grad der Annäherung, mit der sich die Erde als ein abgeplattetes Umdrehungsellipsoid betrachten läßt. Für den einst flüssigen Zustand der Erde, sowie für die erste Zeit nach der Erstarrung ihrer äußersten Schichten müssen wir jedenfalls voraussetzen, daß ihre Oberfläche eine rein ellipsoidische gewesen sei. Durch die spätern tiefgreifenden Umwandelungen der äußersten Schichten entstanden indeß Abweichungen der Erdoberfläche von der rein ellipsoidischen Form, wie solche sich in der Erhebung der Continente und der Vertiefung des Meeresbodens sofort kundgeben. Derartige Unregelmäßigkeiten der Erdoberfläche müssen wir aber für unsere Frage außer Acht lassen; es können sich nämlich alle Berechnungen der Gradmessungen im-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

mer nur auf ein mittleres Erdsphäroid beziehen, dessen Oberfläche als überall mit dem Niveau des Meeres zusammenfallend angenommen wird. Stellen wir aber die Frage so, ob nicht vielleicht dieses mittlere Erdsphäroid merkbare Abweichungen von der rein ellipsoidischen Form darbiete, indem etwa die Meridiane in den verschiedenen Continenten oder in der nördlichen und südlichen Halbkugel nicht überall die gleiche Gestalt und Abplattung darbieten möchten, so kann Folgendes erwiedert werden. Abweichungen der gedachten Art lassen sich zunächst aus den bis jetzt angestellten Gradmessungen durchaus nicht erweisen; um über derartige Abweichungen ein sicheres Urtheil und nicht bloße willkürliche Vermuthungen abgeben zu können, dazu reicht das vorliegende Material durchaus nicht hin. Es sind nämlich, mit Ausnahme der peruanischen und ostindischen, alle übrigen Gradmessungen nur in Europa angestellt worden, können demnach über allenfallsige Gestaltverschiedenheiten der Erdoberfläche in andern Continenten keinen Aufschluß geben; zu diesem Zwecke müßten bei weitem mehr und über die ganze Erde ausgedehnte Gradmessungen vorliegen, als dieses bis jetzt der Fall ist. Wahrscheinlich sind indessen Abweichungen der gedachten Art von nur einigermaßen erheblichem Betrage durchaus nicht. Es spricht gegen solche erstens die Thatsache, daß die vorhandenen Gradmessungen, abgesehen von den zufälligen Fehlern und Unterschieden der einzelnen, sich ganz gut durch eine rein ellipsoidische Gestalt der Erde darstellen lassen, wie dieses die Berechnung derselben durch Bessel gezeigt hat. Zweitens spricht gegen solche Abweichungen auch der Umstand, daß der aus den Gradmessungen berechnete Werth für die Abplattung so sehr befriedigend mit den andern Werthen stimmt, die unter Voraussetzung einer rein ellipsoidischen Gestalt der Erde aus den äußerst zahlreichen Pendelbeobachtungen und aus den betreffenden Ungleichheiten der Mondbewegung abgeleitet worden sind.

Fassen wir endlich zum Schlusse das Resultat unserer Erörterungen in ein Paar Sätze zusammen, so wären dieses etwa die folgenden. Die überall auf das Niveau des Meeres reducirte Erdoberfläche hat die Gestalt eines von der Kugelform nur wenig abweichenden, abgeplatteten elliptischen Sphäroids; den Gradmessungen zufolge ist der Aequatorialhalbmesser des mittlern Erdsphäroids 859,43, der Polarhalbmesser dagegen 856,56 geographische Meilen, also der Unterschied beider oder die Abplattung nahe 3 Meilen. In Bruchtheilen des Aequatorialhalbmessers beträgt die Abplattung $^1/_{299}$; damit stimmen die durch die Pendelbeobachtungen und die aus der Präcession und Nutation gefundenen Werthe, resp. $^1/_{292}$ und $^1/_{296}$, sehr nahe überein. Die noch vorhandenen, sehr kleinen Unterschiede weiter auszugleichen, muß der Zukunft überlassen bleiben. Die sphäroidische Gestalt der Erde ist die Folge ihrer Axendrehung, indem nämlich die daraus hervorgehende Centrifugalkraft im Verein mit der gegenseitigen Anziehung der Theilchen ihr in ihrem einstmaligen flüssigen Zustande diese Gestalt verlieh. Ebenso ordneten sich in dem aller Wahrscheinlichkeit nach noch jetzt im feurigflüssigen Zustande befindlichen Erdinnern die einzelnen ungleich dichten Massen so an, daß sie sich in homogenen ellipsoidischen Schalen über einander lagerten, die sich sämmtlich, ebenso wie die Oberfläche, von der Kugelform nicht weit entfernen, und zwar desto weniger, je näher dieselben dem Mittelpunkte liegen; die Dichtigkeit in den einzelnen Schalen nimmt von der Oberfläche nach dem Mittelpunkte sehr stark zu. Nur die äußersten, der Oberfläche zunächst liegenden Schichten der Erde erlitten im Laufe der seit ihrer Erstarrung verflossenen, ungeheuer langen Zeiträume eine fast vollständige Umgestaltung, wie sie sich durch die Erhebung der Continente über und die Vertiefung des Meeresbodens unter das mittlere Erdsphäroid, so wie durch die ganz unregelmäßige Massenvertheilung in jenen Schichten kund gibt. Die bis jetzt bekannten Thatsachen nöthigen jedoch nicht zu der Annahme erheblicher Abweichungen des mittlern Erdsphäroids von der rein ellipsoidischen Gestalt. Kleinere derartige Abweichungen sind freilich, wenn auch nicht besonders wahrscheinlich, doch noch immer möglich; die Beantwortung aller hierauf bezüglichen Fragen ist aber ganz und gar der Zukunft anheim zu geben.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf