

Die Gestalt der Erde
auf Grund neuerer Forschungen.

Von

Prof. Emanuel Czuber.

Vortrag, gehalten den 23. November 1892.



Unter den großen wissenschaftlichen Aufgaben, an deren Lösung Jahrhunderte gewirkt haben und welche mit breiter Spur die Geschichte des menschlichen Wissens durchziehen, nimmt das Problem der Bestimmung von Figur und Größe unserer Erde eine der hervorragendsten Stellen ein. Seine Geschichte umfasst, wenn wir von den ersten beglaubigten That-sachen an rechnen, einen Zeitraum von mehr als zwei Jahrtausenden. Wohl ist es für eine lange Periode vom Schauplatze verschwunden; dafür aber wird seit nahe dreihundert Jahren unaufhörlich und mit Aufgebot großer Kräfte und Mittel an seiner Lösung gearbeitet, und gerade in den letzten Decennien ist es mit erneuter Kraft aufgenommen und zum Gegenstande unausgesetzter, wohlorganisierter Forschung erhoben worden. Nichts ist begreiflicher, als dass durch eine so lange und intensive Arbeit, an welcher die hervor-ragendsten Geister sich betheiligt haben, ein reicher Wissensschatz zutage gefördert worden ist; ja eine der größten Errungenschaften des menschlichen Geistes, die Entdeckung des Gesetzes, welches alle Körper des Weltraumes gleichmäßig beherrscht und ihre Bewe-

gungen regelt, ist mit der Forschung nach Form und Größe der Erde auf das engste verknüpft.

Es kann meine Aufgabe nicht sein, den langen Weg zu zeichnen, auf welchem der gegenwärtige Stand unserer Kenntnisse von der Erde erreicht worden ist; vielmehr liegt es in meiner Absicht, diesen augenblicklichen Stand in einem gedrängten Bilde zusammenzufassen. Soll aber dies Bild zu voller Wirkung gelangen, dann ist es unerlässlich, wenigstens die wichtigsten Etappen seiner Vorgeschichte mit kurzen Strichen zu skizzieren.

Schon sehr frühzeitig scheinen die zum Theil phantastischen Meinungen von der Gestalt der Erde, zu welchen der unmittelbare Augenschein so manchen Anlass bietet, der bestimmten Hypothese von ihrer Kugelform gewichen zu sein; denn Aristoteles, der im vierten vorchristlichen Jahrhundert lebte, sucht bereits Beweise für dieselbe beizubringen. Bald darauf, um das Jahr 200 v. Chr., begegnen wir auch schon dem ersten wissenschaftlich begründeten Versuche, die Größe des Erdkörpers zu bestimmen, welche in dem Umfange den einfachsten Ausdruck finden konnte. Dieser Versuch, von einem hervorragenden Mitgliede der berühmten alexandrinischen Schule, von Eratosthenes ausgeführt, ist weniger seines Resultates wegen als vielmehr deshalb von Interesse, weil er einem Verfahren die richtige Grundlage gab, das bis auf den heutigen Tag das wichtigste Instrument der Erdmessung bildet und unter dem Namen einer Grad-

messung bekannt ist. Ist nämlich die Erde eine Kugel, so sind die Meridiane gleiche Kreise; wird nun ein Bogen eines solchen gemessen, was eine geodätische Operation erfordert, und wird ferner durch Sternbeobachtungen ermittelt, den wievielten Theil des ganzen Meridiankreises dieser Bogen ausmacht, was eine astronomische Operation erheischt, so lässt sich aus den beiden Resultaten mit Hilfe einer einfachen Rechnung der Umfang der Erde ableiten. Wie schon erwähnt, hat das Resultat dieses ersten Versuches einer Erdmessung wenig Bedeutung; einmal musste es vermöge der unzureichenden Beobachtungsmittel hinter der Wahrheit um ein beträchtliches zurückbleiben, zum andern ist es uns in unzuverlässiger Form überkommen.

Von einem andern ebenfalls ungenügend überlieferten Versuch des Alterthums und einer im Mittelalter von den Arabern ausgeführten Messung abgesehen, hat erst die Neuzeit die Frage wieder aufgenommen und ist bald mit wesentlich verbesserten Hilfsmitteln an ihre Lösung geschritten; noch galt die Hypothese von der Kugelform für eine des Beweises kaum bedürftige Thatsache. Hierin sollte nun das Ende des 17. Jahrhunderts Wandel schaffen. Die im Jahre 1666 gegründete Pariser Akademie erkannte es als eine ihrer ersten Aufgaben, eine neue Erdmessung vorzunehmen, und betraute damit eine Reihe hervorragender Gelehrten. Die Messung erstreckte sich über den Bogen des Pariser Meridians, welcher von Dünkirchen im

Norden bis Perpignan im Süden reicht und somit ganz Frankreich durchzieht; ihr Ergebnis ward von großer Tragweite. Als man den Bogen durch die Zwischenstationen Paris und Amiens in drei Theile zerlegte und aus jedem gesondert die Länge eines Meridiangrades rechnete, ergab sie sich aus dem südlichen Theile größer als aus dem mittleren und aus diesem wieder größer als aus dem nördlichen. Daraus musste der Schluss gezogen werden, dass die Erde keine Kugel sei, dass sie vielmehr in Richtung der Achse, um welche sie ihre tägliche Umdrehung ausführt, verlängert sein; also, bildlich gesprochen, die Gestalt einer Citrone haben müsse. Dieses Resultat konnte nicht verfehlen, allgemeines Aufsehen zu erregen, da es doch einer festgewurzelten Anschauung zuwiderlief. Nicht minder überraschend aber musste eine zweite, aus rein theoretischen Erwägungen gefolgerte Behauptung auf die damalige wissenschaftliche Welt einwirken, der sie bald nach der französischen Gradmessung zur Kenntnis kam. Newton und Huygens waren nämlich zu einer geradezu gegentheiligen Anschauung über die Form der Erde gelangt, zu der Anschauung nämlich, die Erde sei in der Richtung der Umdrehungsachse zusammengedrückt, sei also der Form einer Pomeranze vergleichbar. Newton kam zu diesem Schlusse auf Grund des von ihm entdeckten Gesetzes von der gegenseitigen Anziehung der Massen, und zur Vollendung dieser großen Entdeckung war ihm eben die französische Messung behilflich gewesen, — Huygens auf

Grund der von ihm entdeckten Fliehkraft, welche bei jeder krummlinigen, also auch bei jeder drehenden Bewegung hervorgerufen wird. Nun standen einander zwei widersprechende Meinungen gegenüber, und es ist nur selbstverständlich, dass sich in dem nahe ein halbes Jahrhundert währenden Streite hierüber diejenigen, denen die theoretischen Speculationen eines Newton und Huygens unverständlich blieben, mit Vorliebe auf Seite der ersten Anschauung stellten, da ihr die gewissermaßen greifbaren Resultate einer Messung zugrunde lagen.

Die Folge entschied aber zu Gunsten Newtons und Huygens, und das Verdienst, die Entscheidung herbeigeführt zu haben, gebürt wieder der französischen Akademie. In der Erwägung, dass zwei in meridionaler Richtung möglichst weit von einander entlegene Gradmessungen den sichersten Schluss gestatten müssen, rüstete sie zwei Expeditionen aus, die eine in die äquatoreale Gegend von Peru, die andere nach Lappland, an die Grenze der Eisregion. Das Resultat der beiderseitigen Messungen sprach in entschiedener Weise für die in der Richtung der Achse verkürzte Erdgestalt, wofür Newton und Huygens übereinstimmend die Form eines Sphäroids gefunden hatten, d. i. desjenigen Körpers, welcher beschrieben wird von einer um ihre kleine Achse sich drehenden Ellipse.

Für die Charakterisierung dieser Gestalt fand man einen prägnanten Ausdruck in der sogenannten

Abplattung. Sie gibt an, wie sich der Unterschied zwischen der größten und kleinsten Erddimension zu der größten verhält. Je kleiner die Abplattung, umso weniger weicht das Sphäroid von der Kugel ab. Newton und Huygens hatten für die Abplattung die beiden weit auseinander liegenden Werte $\frac{1}{230}$ und $\frac{1}{578}$ gefunden; nach Newton also betrüge die Anschwellung, welche die Erde, mit einer Kugel verglichen, um den Äquator zeigt, etwa 4, nach Huygens etwa $1\frac{1}{2}$ geographische Meilen. Diesen auf rein theoretischem Wege gewonnenen Bestimmungen standen jene gegenüber, welche sich aus den vorhandenen Gradmessungen ableiten ließen; zwei solcher Gradmessungen, unter verschiedenen Breiten ausgeführt, oder auch zwei Theile einer und derselben Gradmessung liefern nämlich einen Wert für die Abplattung. Als man die französische, die peruanische und die lappländische Gradmessung in verschiedener Weise zu zweien kombinierte, kam man zu Werten der Abplattung, welche untereinander und auch von den beiden früher genannten erheblich verschieden waren.

Obwohl also von nun ab die sphäroidische Gestalt der Erde als feststehend gelten konnte, war doch die Stärke der Abplattung noch nicht bekannt, und so erweitert sich mit dem Beginne des 18. Jahrhunderts die Aufgabe der Gradmessungen; nicht mehr wie früher haben sie die Größe der Erde allein, sondern auch ihre Figur zu bestimmen. Gerade die Frage nach der Figur war es, welche immer wieder zu neuen

und größeren Operationen aneiferte, denn jede neue Messung, mit den früheren verglichen, führte zu neuen Abplattungswerten, deren Reihe und damit auch der Zweifel über den wahren Sachverhalt immer mehr anwuchs. So sehen wir denn im Laufe des 18. und in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts zahlreiche Gelehrte an der Arbeit, nicht allein in Europa, auch in Asien, Afrika und Amerika, bald mit primitiven, bald mit höchst vollkommenen Mitteln ausgestattet; die Arbeit, welche sie leisteten, war von bleibendem Werte, in ihr verkörperte sich die Entwicklung jener Wissenschaft, welche heute unter dem Namen der höheren Geodäsie gepflegt wird. Fast am spätesten trat Deutschland in diesen wissenschaftlichen Wettkampf ein, und zwar mit Arbeiten von verhältnismäßig geringer Ausdehnung, dafür aber von solcher Feinheit und Vollendung, dass sie zu Mustern für die Zukunft wurden und bald darauf dem Deutschen Reiche die Führung in der Erdmessungsfrage eintrugen.

Immer lebhafter machte sich das Bedürfnis fühlbar, aus der großen Gesamtmenge von Messungen möglichst sichere Schlüsse zu ziehen und nicht wie bisher immer nur zwei willkürlich ausgewählte Operationen für diesen Zweck zu benützen. Fast zu gleicher Zeit fanden Laplace, Legendre und Gauß Methoden zur Ausführung derartiger Rechnungen, und eine Reihe hervorragender Geometer unterzog sich der überaus mühevollen Aufgabe, das reiche Materiale auf Grund dieser Methoden zu verarbeiten. Walbeck, Schmidt, Bessel, Clarke

waren der Reihe nach hiermit beschäftigt, und die von ihnen zutage geförderten Resultate zeigen ein wesentlich verändertes Bild: für die Dimensionen des Erdkörpers liefern sie unter einander relativ wenig abweichende Werte und für die Abplattung Beträge, die weit enger beisammenliegen als die zahllosen früher errechneten und die insgesamt nicht allzusehr von $\frac{1}{300}$ entfernt sind, so dass man in runden Zahlen sagen kann, die Erde zeige einer Kugel von 6356 *km* Halbmesser gegenüber längs des Äquators eine Anschwellung, die von den Polen langsam anhebt und an der Stelle, wo sie am stärksten ist, eine Mächtigkeit von 21 *km* besitzt.

Man erblickte in diesen Rechnungsergebnissen, namentlich in jenen des großen Königsberger Astronomen Bessel, einen vorläufigen Abschluss in der Lösung der Frage nach Figur und Größe der Erde. Aber befriedigen konnten die Ergebnisse nicht und am wenigsten befriedigten sie die Rechner selbst. Es musste sich die Frage erheben, woher die noch immer übrigbleibende Unsicherheit in der Abplattung und die ungleich vollkommene, mitunter wenig befriedigende Übereinstimmung der Messungsergebnisse mit dem Endresultate der Rechnung stamme. Der Grund konnte ein doppelter sein: entweder lag er in den unvermeidlichen Fehlern der Messungen, oder darin, dass die Erde nicht genau die regelmäßige Gestalt eines Sphäroids besitzt, die man den Rechnungen zugrunde gelegt hatte. Die erste Annahme erwies sich bald als

unstichhaltig, dazu waren die Abweichungen zu groß, die zu erwartenden Fehlergrenzen weit überschreitend; es blieb also nur die zweite übrig, und die scheinbar erledigte Frage trat in neuem Gewande wieder auf: Inwieweit weicht die Erdgestalt von der eines Sphäroids ab, und wie sind diese Abweichungen zu bestimmen?

Man erkannte bald, dass dieses Ziel nur durch Detailarbeiten der subtilsten Art zu erreichen sei. Ein dichtes Netz geodätisch und astronomisch vollkommen bestimmter Stationen musste über jenes Gebiet der Erde gespannt werden, dessen nähere Gestalt zu erforschen man sich vorgesetzt hat. Zu den geodätischen und astronomischen Arbeiten mussten sich auch Untersuchungen anderer Art gesellen, welche zur Lösung der obschwebenden Frage als förderlich erkannt worden sind. Politische Grenzen durften bei Absteckung des Forschungsgebietes keine Schranken bilden. Von diesen Gesichtspunkten ausgehend regte im Jahre 1861 der preußische General von Baeyer, einst Bessels Mitarbeiter, die Idee an, die mitteleuropäischen Staaten mögen sich zu einer gemeinsamen Action vereinigen und mit allen durch die Wissenschaft gebotenen Mitteln an die Lösung der neuen Fragen schreiten. Die Idee fand so begeisterte Aufnahme, dass sich aus der mitteleuropäischen bald eine europäische Gradmessung und aus dieser in weiterer Folge eine internationale Erdmessung entwickelte. An 30 Staaten verschiedener Erdtheile sind dermalen an dem großen Unternehmen betheiligte; die

Führung fiel Deutschland zu, von dem die Anregung ausgegangen war.

Eine der ersten Forderungen bei Aufnahme der neuen Arbeiten war es, genau festzustellen, was man unter der Figur der Erde zu verstehen habe; bis gegen Mitte dieses Jahrhunderts war man sich hierüber keineswegs ganz klar gewesen. Erst durch Bessel und Gauß wurde der richtige Weg gewiesen. Denkt man sich nämlich das Weltmeer in völliger Ruhe und mittels eines Netzes das Festland nach allen Richtungen querender Canäle durch dieses fortgesetzt, so ist der zusammenhängende Spiegel dieser Wassermasse ein Theil jener Fläche, welche nach den beiden genannten Gelehrten als Figur der Erde bezeichnet zu werden verdient. Ihr kommt die bemerkenswerte Eigenschaft zu, dass das Bleiloth in seiner Ruhelage sie allerorts rechtwinklig trifft. Nun ist diese ideale Fläche allerdings in keinem Augenblicke wirklich vorhanden; genaue, an vielen Punkten der Meeresküste mit besonderen sinnreichen Apparaten angestellte Beobachtungen haben jedoch gezeigt, dass trotz der beständigen, mitunter bedeutenden und unregelmäßigen Schwankungen des Meeresspiegels das sogenannte Mittelwasser eine überaus feste Lage besitze, welche auch im Laufe langer Zeiträume keine merkliche Änderung erleidet. Es entstand aber die Frage, ob die Mittelwasser der verschiedenen Meeresküsten in der oben beschriebenen idealen Fläche liegen. Lange schien es, als müsste diese Frage verneint werden, als hätte

das Meer neben der wechselnden Bewegung durch Ebbe und Flut, Strömungen, Winde auch ein ständiges Gefälle nach verschiedenen Richtungen. Wäre dem wirklich so, dann ergäbe sich die absolute oder die Meereshöhe einer Bergspitze anders, wenn man sie auf das Mittelwasser der Nordsee, und wieder anders, wenn man sie auf das Mittelwasser der Adria bezöge. Die jüngst ausgeführten Untersuchungen haben aber gezeigt, dass dem nicht so ist, und man kann heute nahezu mit apodiktischer Gewissheit behaupten, dass alle Mittelwasser jener idealen Fläche angehören, welche man als Geoid zu bezeichnen sich gewöhnt hat.

Wie nun stellt sich diese Fläche zu dem aus den Gradmessungen abgeleiteten Sphäroid? Überlegungen der folgenden Art führen zu einer Beantwortung dieser Frage wenigstens im allgemeinen. Das Bleiloth zeigt an jedem Orte die Richtung der Anziehung an, welche auf dasselbe von allen Theilen der Erde ausgeübt wird. Die Erde aber ist kein gleichförmiger Körper; denn abgesehen von den Unebenheiten ihrer Oberfläche zeigt die uns zugängliche Erdrinde auch große Unregelmäßigkeiten in der Zusammensetzung. Daraus folgt auch ein unregelmäßiger Verlauf der Lothrichtung und daraus hinwiederum eine unregelmäßige Gestaltung des Geoids, das ja zur Lothrichtung überall senkrecht ist. Das Sphäroid ist diejenige Gestalt, welche die Erde haben würde, wenn sie eine homogene Flüssigkeit wäre; weil und in dem Maße,

als sie von diesem Zustande abweicht, zeigt auch das Geoid Abweichungen von dem Sphäroid.

Auch von der Art dieser Abweichungen vermag man sich ein allgemeines Bild zu entwerfen. Ein in unmittelbarer Nähe einer Beobachtungsstation sich erhebendes Gebirge alteriert dort sowohl die Richtung als auch die Intensität der Schwerkraft; denn die Anziehung, welche das Gebirge auf die Linse eines auf jener Station aufgehängten Pendels ausübt, ändert sowohl die Ruhelage des Pendels als auch seine Schwingungsdauer. Eine einfache geometrische Betrachtung lehrt, dass das Geoid infolge dessen unterhalb des Gebirges eine Anschwellung, sinnlicher gesprochen eine Ausbauchung gegenüber dem Sphäroid aufweisen werde. Was aber ein Gebirge im kleinen bewirkt, das müssen die großen Massen der Continente in erhöhtem Maßstabe zur Folge haben; unter den Continenten wird also das Geoid Anschwellungen, über den Meeresbecken, welche mit dem relativ weniger dichten Wasser angefüllt sind, Depressionen im Ver gleiche zum Sphäroid aufweisen müssen. Die der Berechnung oder mindestens der Schätzung zugänglichen Massen der Gebirge einerseits und der ganzen Continente andererseits gestatten diese Abweichungen ziffermäßig festzustellen, und es ergaben sich dafür ganz ansehnliche Beträge, so lange man nur die zutage liegenden Verhältnisse im Auge hatte. So entstanden ursprünglich recht übertriebene Vorstellungen von dem Verlaufe des Geoids; seine Erhebungen über

und seine Senkungen unter das Sphäroid sind bis auf 600 Meter und darüber geschätzt worden; in jüngster Zeit sind sie durch Aufdeckung merkwürdiger That- sachen auf ein weit bescheideneres Maß zurückgeführt worden. Sorgfältige Messungen in der Nähe großer Gebirge haben nämlich in zahlreichen Fällen die eigen- thümliche Erscheinung zutage gefördert, dass die Einwirkung auf das Pendel weit geringer sich zeigte, als es der Masse des Gebirges entsprechend wäre, ja dass sie zuweilen der zu gewärtigenden geradezu ent- gegengesetzt war. Diese Erscheinung weist unzweifel- haft darauf hin, dass den sichtbaren Massen der Ge- birge in solchen Fällen Unregelmäßigkeiten innerhalb der Erdkruste gegenüberstehen müssen, und zwar Massenabgänge in Form großer Hohlräume oder, was größere Wahrscheinlichkeit für sich hat, mächtige Lagerstätten von Mineralien sehr geringer Dichte, durch welche die Wirkung der Gebirge abgeschwächt, mitunter vollständig aufgehoben wird. Andererseits sind Fälle beobachtet worden, wo das Pendel in ebenen Gegenden das Vorhandensein anziehender Massen an- zeigte; diese müssen, da sie äußerlich nicht sichtbar sind, nothwendig in der Erdrinde vorhanden sein in Form von Massenanhäufungen, die man sich wieder am ehesten als Ablagerungen sehr dichter Mineralien vor- zustellen haben wird. In großer Ausführlichkeit sind derlei Untersuchungen in den letzten Jahren im Gebiete der Tiroler Alpen ausgeführt worden und haben die auch von anderer Seite und aus anderen Gründen erschlossene

Vermuthung bestätigt, dass die große Massenanhäufung, welche die Alpen darstellen, zum großen Theile paralytisch sei durch einen ausgedehnten Massenabgang unterhalb derselben, dass hingegen unter der Poebene eine beträchtliche Massenverdichtung sich ausbreite.

Aber auch für die Annahme sind schon zahlreiche Anhaltspunkte vorhanden, dass eine ähnliche Ausgleichung, wie sie unter den Gebirgen statthat, auch unter den Continenten und unter den Meeresbecken vollzogen ist in der Weise, dass sich unter den Festlandsmassen Massenabgänge, unter den Meeresbecken Massenverdichtungen befinden, durch welche im großen Ganzen, trotz der Unregelmäßigkeiten im Einzelnen, eine nahezu gleichförmige Vertheilung der Massen herbeigeführt wird. Je mehr diese Annahme, für welche auch schon beachtenswerte physikalische Gründe beigebracht worden sind, durch erwiesene Thatsachen an Boden gewinnt, desto näher rückt für uns die Gestalt des Geoids der rein geometrischen des Sphäroids; die Abweichungen beider, wenn sie auch an Maß zurücktreten, büßen dadurch an Interesse nicht ein, weil sie mit der Constitution der Erdkruste in engstem Zusammenhange stehen.

Am Schlusse meiner Ausführungen möge mir ein kurzer Rückblick gestattet sein. Lang und mühevoll war der Weg, auf welchem wir zu dem gegenwärtigen Stande unserer Kenntnisse über die Figur und Größe der Erde gelangt sind; Theorie und messende Praxis, beide in ihrer höchsten Vollendung, mussten sich ver-

einigen, um an der Lösung des überaus schwierigen Problems mit Erfolg zu arbeiten. Höchst bemerkenswert ist es, dass die ursprünglich bloß auf die äußere Gestalt des Erdkörpers gerichtete Forschung Fragen angeregt hat, die auf den inneren Bau der erstarrten Erdrinde sich beziehen und geeignet sind, einer andern unseren Planeten betreffenden Wissenschaft, der Geologie, dankbare Probleme zuzuführen. Ihre Kraft hat die Aufgabe der Erdmessung nicht erschöpft; sie ist geeignet, dauernd ein würdiges Object geistigen Schaffens zu bleiben und befruchtend auf alle jene Wissensgebiete zu wirken, die berufen sind, an ihrer Lösung theilzunehmen.
