

Theorien

über das

Gleichgewicht der Erdkruste.

Von

Prof. Dr. Albrecht Penck.

Vortrag, gehalten den 27. Februar 1889.

Gesetzmäßigkeit und Gleichgewicht in der Anordnung der einzelnen Theile ruft den Eindruck des Vollendeten und Schönen hervor. In der vielgestaltigen Erdoberfläche das Kunstwerk aus der Hand eines Schöpfers bewundernd, setzt der naive Mensch in deren Anordnung eine bestimmte Regelmäßigkeit voraus und ahnt ein Gleichgewicht zwischen den einzelnen Theilen. Eine Gesetzmäßigkeit im Walten der Naturkräfte beobachtend, sieht der Forscher, wie verschieden gegeneinander wirkende Kräfte sich das Gleichgewicht zu halten vermögen, und erblickt im jeweiligen Zustande eine Gleichgewichtslage. Naive Beschauer und Naturforscher gelangen bei Betrachtung der Erdkruste zum gleichen Schlusse, in deren Gestalt eine Gleichgewichtsfigur zu erblicken, und so lange sinnende und forschende Augen über die Erde geschweift sind, so lange sind schon die Theorien über das Gleichgewicht der Erdkruste gezeitigt worden.

Bei dem an Ebenmaß der Form gewöhnten Volke der Griechen mussten solche Theorien besonders leicht erwachsen; die Grunderkenntnis über die Erdgestalt entstand bei ihm nicht auf Grund einer reifen wissenschaftlichen Überlegung, sondern die Pythagoräer

schlossen, dass die Erde eine Kugel sei, weil sie deren Form als die vollkommenste ansahen. Am felsigen Gestade des ihm unergründlichen Meeres stehend, verknüpfte der Hellene im Geiste die Höhen des Landes mit den Tiefen des Meeres und meinte im Meeresgrunde ein genaues Gegenstück der vielgliedrigen Landoberfläche zu erblicken. Nach Plutarch¹⁾ glaubten die alten Geometer, dass es keinen Berg gäbe, der höher, kein Meer, das tiefer als zehn Stadien wäre. Man schloss, wie sich Humboldt hierüber auslässt, dass zwischen dem Maximum der positiven und negativen Höhen Gleichheit herrschen müsse.²⁾ Diese Ansicht lebte mit anderen Früchten griechischer Naturanschauung in der Renaissanceperiode wieder auf und hat geherrscht, bis durch die moderne Tiefseeforschung der Schleier gelüftet wurde, welcher durch mächtige Wasserschichten über den Meeresgrund gebreitet ist. Ihr huldigte der große deutsche Geograph des 17. Jahrhunderts, Bernhard Varenius,³⁾ und sie erhielt durch einen österreichischen Heerführer, den Grafen Marsili,⁴⁾ noch im 18. Jahrhundert eine Stütze, als dieser den Golf der Provence auslothete und unweit des Canigou eine letzterem entsprechende Tiefe zu constatieren meinte.

Im Zeitalter der Entdeckungen entwickelte sich

1) Vita Aemil. Paulli, Cap. XV.

2) Centralasien, Bd. I, S. 80.

3) Geographia generalis, Cap. XIII, praep. 6.

4) Histoire physique de la mer, 1725, p. 11.

eine weitere Anschauung über das Gleichgewicht auf der Erdoberfläche. Varenius fand bei einer Betrachtung des Erdballes, dass die Wasser- und Landfläche ungefähr einander gleich seien, so dass die Wasserfläche etwa die Hälfte der Erdoberfläche einnehme.¹⁾ Mit dieser Ansicht verwuchs eine andere, als deren Urheber Gerhard Mercator²⁾ gilt, nämlich, dass zu beiden Seiten des Äquators Wasser und Land in gleicher Entwicklung vorhanden seien, so dass also Wasser und Land symmetrisch zum Äquator gelagert seien. Torbern Bergman³⁾ verlangte geradezu, dass dies so sein müsse, weil sonst die beiden Hemisphären ungleich schwer wären. Die Ausdehnung der Entdeckungsfahrten hat beide Ansichten bald widerlegt. Schon bei Beginn des 18. Jahrhunderts waren nüchterne Geographen sich darüber einig, dass das Meer weit ausgehnter sei als das Land, und verschiedene Ausmessungen, an welchen sich auch ein anonymer Wiener betheiligte,⁴⁾ ließen erkennen, dass es mindestens doppelt so groß als das Festland sei. Von einem Gleichgewichte der Flächen von Wasser und Land konnte nun füglich nicht mehr die Rede sein, nach Cooks Entdeckungsfahrten war selbst nicht mehr daran zu zweifeln, dass Wasser und Land nicht einmal symmetrisch

1) Geographia generalis, Cap. XVIII, praep. 1.

2) E. Wisotzki, Die Vertheilung von Wasser und Land. Königsberg 1879, S. 28.

3) Physikalische Erdbeschreibung.

4) Geographische Ausmessung aller Länder. Wien 1781.

zum Äquator lägen, man hatte die nördliche Halbkugel als Landhemisphäre, die südliche als eine Wasserhemisphäre kennen gelernt.

Allein der Gedanke eines Gleichgewichtes beider Hemisphären war so fest eingebürgert, dass selbst Reinhold Forster, der Begleiter Cooks, schrieb, nachdem er das Übergewicht der Wasserfläche auf der Südhemisphäre betont hatte: „Kann aber nicht, wenn anders das System vom Gleichgewichte beider Halbkugeln nothwendig ist, dem Mangel einer größeren Landmasse dadurch abgeholfen werden, dass im Grunde des Südmeeres solche Körper liegen, deren verhältnismäßige Schwere das Gleichgewicht wieder herstellt?“¹⁾ Wogegen Desmarests, nach dem Zeugnisse von Malte Brun,²⁾ annahm, dass die Meere nach dem Südpole hin seichter wären als die der Nordhemisphäre, und dass sohin die submarinen Schichten der Südhemisphäre den erhobenen der Nordhemisphäre das Gleichgewicht hielten, welche von tieferen Becken umgeben seien.

Erst die neuere Tiefseeforschung hat Beobachtungen an Stelle der Hypothesen gesetzt. Erkannt ist worden, dass das Meer nicht bloß ausgedehnter als das Land, sondern auch tiefer als letzteres hoch ist. Wenn auch noch große Strecken der Erdoberfläche, namentlich in den Polarregionen zu erforschen bleiben und das Relief des Meeresbodens nur erst annähernd erforscht ist,

¹⁾ Bemerkungen auf seiner Reise um die Welt gesammelt, S. 58.

²⁾ Précis, t. II, p. 167.

so lässt sich als das Wahrscheinlichste hinstellen, dass das Meer eine 2·58mal größere Fläche einnimmt als das Land, und dass es siebenmal tiefer als letzteres hoch ist.¹⁾ Die Meeresbecken sind also 18mal geräumiger als die als Land über den Meeresspiegel aufragenden Theile der Erdoberfläche, wie 18:1 verhalten sich die Räume der Erdkruste, welche der Theorie nach im Gleichgewichte sein sollten. Ferner kann heute schon als ausgemacht gelten, dass die Meere der Südhemisphäre keineswegs durch geringere Tiefe wieder einbüßen, was sie durch größeres Areal von den Nordmeeren gewonnen haben: die Meere nördlich vom Äquator sind 3350 *m*, die südlich vom Gleicher gelegenen 3850 *m* tief. Ein Gleichgewicht der Formen über und unter dem Meeresspiegel findet nicht statt und ebensowenig ein solches zu beiden Seiten des Äquators.

Aber wenn auch ein solches räumliches Gleichgewicht entschieden fehlt, so könnte vielleicht ein solches der Massen vorhanden sein. Das Meerwasser ist leichter als das Gestein der Länder, und O. Reichenbach machte darauf aufmerksam, dass die Meeresfläche ebensovielmal größer wäre, als das Land schwerer als das Wasser ist.²⁾ Ein Gleichgewicht zwischen Wasser und Land würde unter solchen Umständen existieren, wenn die Meere ebenso tief wie die Länder hoch wären,

1) A. Penck in Petermanns Mittheilungen, 1889, S. 19.

2) Die Gestaltung der Erdoberfläche nach bestimmten Gesetzen. Berlin 1870, S. 4.

was aber nicht der Fall ist. In feinsinniger Weise hat O. Peschel¹⁾ die Frage erwogen, er findet, dass der Flächeninhalt des Trockenen in streng arithmetischer Abhängigkeit von der mittleren Meerestiefe steht, und die mittleren Tiefen der Oeane schätzend, erkennt er, dass die Festländer wie Plateaux aus dem verhältnismäßig ebenen Meeresgrunde aufragen. O. Krümmel knüpfte an dieses Ergebnis des Meisters an, er ermittelte den Rauminhalt der Festlandsplateaux und das Volumen der dazwischen gelegenen Meeresbecken. Er zeigte, dass die großen „Erdfesten“, gerechnet vom mittleren Niveau des Meeresbodens, nur 2·43 mal in den Meeresbecken untergebracht werden könnten.²⁾ Dann bestimmt er das Gewicht des in dem Meere enthaltenen Wassers und das Gewicht der Continentalplateaux; das erstere findet er zu 1,322.355 Billionen Tonnen, das letztere zu 1,321.375 Billionen Tonnen. „Daraus folgt die überraschende Thatsache, dass zwischen den Massen des Meeres und der Erdfesten nahezu Gleichgewicht besteht,“ schließt er seine anregende Betrachtung. Das für die Erdkunde äußerst fruchtbare Jahrzehnt hat allerdings an manchen der von Krümmel verwerteten Zahlen gerüttelt, allein wenn wir heute das Gewicht der Festlandspfeiler und des Meerwassers bestimmen, wobei die unbekanntenen Theile der Erdoberfläche gänzlich außer Betracht bleiben, so

1) Neue Probleme der vergleichenden Erdkunde. Zweite Auflage, S. 75.

2) Morphologie der Meeresräume. Leipzig 1879, S. 107.

ergibt sich als Gewicht der Landpfeiler 1,480.700 Billionen Tonnen und als Gewicht des Meerwassers 1,314.828 Billionen Tonnen, so dass also auch heute noch beiden im wesentlichen gleiches Gewicht zuzuschreiben ist.

Allein eine solche nackte Thatsache an sich genommen genügt keineswegs, um daraus wichtige Folgerungen herzuleiten, kann sie doch ebenso zufällig wie gesetzmäßig sein. Sie bedarf daher stets der Bestätigung durch analoge Erscheinungen oder einer solchen Begründung, dass sie als die nothwendige Folge von Naturgesetzen entgegentritt. Die Theorie vermag daher manche vereinzelt Beobachtung zu würdigen, sie kann den in der Einzahl auftretenden Thatsachen den Charakter der bloßen Zufälligkeit nehmen. Alle großen Züge in der Gestaltung unseres Planeten nun sind nur einmal vorhanden, kein Analogieschluss ermöglicht sie als zufällig oder gesetzmäßig hinzustellen, die Theorie muss eingreifen, wenn sie recht gewürdigt werden sollen. Es ist daher bei allen Problemen, welche die gesammte Erde betreffen, der Theorie eine große Rolle zuzuschreiben und die Theorie lässt ein Gleichgewicht auf der Erdoberfläche auch dort erkennen, wo Jahrhunderte der Beobachtung ein solches nicht im mindesten ahnen konnten.

Es sprachen die Pythagoräer von einer Erdkugel, weil sie die Kugel für die vollkommenste Gestalt eines Körpers hielten, und spätere Gelehrte des Alterthums haben diese Schlussfolgerung durch Beobachtungen be-

stätigt, allein so lange als die Gravitationstheorie Newtons noch nicht existierte, war nicht einzusehen, warum die Erde als Kugel erschien. Newton lehrte, dass eine frei im Raume schwebende, sich selbst überlassene Masse, deren Theilchen nebeneinander vorbeigleiten können, sich unter der Wirkung der gegenseitigen Anziehung kugelförmig zusammenballen müssten, dermaßen, dass sich die Oberfläche des Körpers allenthalben senkrecht zur Richtung der Anziehung, die auf den Schwerpunkt weist, stellt. Aber die Erde ist nicht ein stabiler Körper, sie dreht sich um ihre Achse, und jedes einzelne ihrer Theilchen ist nicht bloß der Anziehung des Ganzen, sondern auch der sich entwickelnden Fliehkraft unterworfen. Die Oberfläche auch eines solchen Körpers sucht sich allenthalben senkrecht auf die Richtung zu stellen, welche ein freifallender Körper einschlägt, dieser aber folgt den beiden auf ihn wirkenden Kräften und fällt nicht mehr in der Richtung nach dem Schwerpunkte. Der Meeresspiegel bildet unter solchen Verhältnissen eine Gestalt, die man als abgeplattetes Rotationsellipsoid bezeichnet, man erhält dieselbe, wenn man eine Ellipse um ihren kleinsten Durchmesser sich drehen, rotieren lässt; schlecht gedrehte, apfelähnlich aussehende Kegelkugeln sind derartige Rotationsellipsoide. Die Erde erscheint oberflächlich wenigstens starr und fest, aber sie ist zu $\frac{5}{7}$ von Wasser bedeckt, welches flüssig ist und seinen Spiegel senkrecht zur Richtung der auf seine Masse wirkenden Kräfte stellen kann. Der Meeresspiegel,

schloss also Newton, muss, wenn die Wasser im Gleichgewichte sich befinden sollen, die Oberfläche eines abgeplatteten Rotationsellipsoides besitzen. Diese theoretisch richtige Ansicht stieß zunächst auf Widerspruch, weil ihr Beobachtungen widersprachen, sie veranlasste eine Wiederholung jener Beobachtungen; dieselben wurden als unrichtig erkannt, die Theorie triumphierte über die bloße Feststellung von Thatsachen, wobei sich nur zu leicht Beobachtungsfehler einschleichen.

Gewaltig zwar erheben sich die Gebirge über den Meeresspiegel und großartig erscheinen die Einsenkungen der Meeresbecken dem Beobachter, der sich auf der Erdoberfläche bewegt. Aber jener Beschauer, der sich in den Weltraum begeben könnte, wird bald die Höhenunterschiede zwischen Berg und Thal verschwinden sehen, die gewaltigen Festlandsplateaux werden ihm allmählich mit dem Meeresboden verwachsen, dem sie aufgesetzt sind, und schließlich wird sich der ganze Erdball seinem Blicke darbieten. Derselbe würde ihm als Kugel erscheinen, und nur durch Messungen würde er vom Monde etwa aus feststellen können, dass diese Kugel von Pol zu Pol rund um $\frac{1}{300}$ (genau $\frac{1}{299}$ oder $\frac{1}{293}$) weniger misst als ihr Durchmesser unter dem Äquator. Der höchste Berg aber würde ihm kaum als $\frac{1}{5}$ jenes geringfügigen Unterschiedes entgegentreten, und der Höhenunterschied zwischen Meeresgrund und den Festlandshöhen käme ihm vor wie $\frac{1}{3000}$ des Erddurchmessers, sowie uns etwa $\frac{1}{3}$ mm am Meterstabe. Verschwinden würden ihm die Höhen und Tiefen der

Erdoberfläche gegenüber dem Erdganzen, und dieses musternd, würde er sagen: „Die Erdoberfläche ist so gestaltet, wie sie sich unter dem Einflusse der Schwere und Fliehkraft gestalten muss, wenn Gleichgewicht auf ihr herrschen soll, sie ist eine Gleichgewichtsfigur, was uns Erdenbewohnern nur der Meeresspiegel zu sein scheint.

Würde jener Beschauer zur Erde zurückkehren, so würden ihn die Unebenheiten gewiss sehr überraschen, und er würde vielleicht an der gewonnenen Erkenntnis, dass die Erdoberfläche eine Gleichgewichtsfigur darstelle, zu zweifeln beginnen. Jedenfalls aber würde er zum Schlusse gelangen, dass der Meeresspiegel nicht genau die Oberfläche eines Rotationsellipsoides bilden kann. Er würde aus dem Newton'schen Theorem den Schluss herleiten, dass die ihm nunmehr gewaltig erscheinenden Berge die Lage des Meeresspiegels beeinflussen müssten. Ein fallender Körper würde nämlich nicht bloß der Fliehkraft und Anziehung des Erdganzen zu folgen haben, sondern auch der Anziehung der benachbarten Berge; die letztere würde ihn etwas aus der sonst eingeschlagenen Richtung ablenken, und zwar um einen messbaren Betrag. Um den gleichen Betrag würde auch der Meeresspiegel gegenüber seiner normalen Lage verschoben sein. Würde der Körper nach dem Berge, dem Gebirge oder dem Festlande hin fallen, so würde der Meeresspiegel nach jenen Erhebungen hin über seine rotationsellipsoidische Normallage anschwellen. Der Umstand, dass die starre

Erde eine unebene Oberfläche hat, und dass das Meer bloß beckenförmige Vertiefungen ausfüllt, sollte zur Folge haben, dass das Meeresniveau sich nicht genau als die Oberfläche eines Rotationsellipsoides darstellt, sondern als eine äußerst verwickelt gestaltete Fläche, welche im kleinen die Unebenheiten des Landes wiedergibt, sich nämlich in der Nähe von Bergen, Gebirgen und Continenten etwas über die normale Fläche eines Rotationsellipsoides erhebend, über den größten Meerestiefen aber sich etwas unter dieselbe einsenkend. Die Beträge dieser Abweichungen lassen sich berechnen; sie sind so stattlich, dass sie durch Beobachtungen, durch Schwere- und Gradmessungen feststellbar sein sollten.

In der That hat man auch Abweichungen der Lothrichtung aus der Normalrichtung, wie sie auf einem Rotationsellipsoide erwartet werden soll, schon längst in der Nachbarschaft großer Berge festgestellt und diese „Lothablenkungen“ in sinnreicher Weise dazu benützt, um Schlüsse auf die Gesamtmasse des Erdballs zu machen. Erwartet musste daher werden, dass in der Nähe des höchsten Gebirges der Erde, dass am Fuße des Himalaya außerordentlich beträchtliche Lothablenkungen stattfänden, und dass an den vorderindischen Küsten der Meeresspiegel eine recht nennenswerte Anschwellung über der Oberfläche des normalen Rotationsellipsoides zeigen würde. Als aber die große indische Gradmessung, eine der größten geodätischen Leistungen, vollendet war, zeigten sich zur größten

Überraschung nicht die theoretisch zu erwartenden und schon berechneten Lothablenkungen, sondern weit geringere, und dabei lieferte sie für die Krümmung der Erde zwischen Äquator und Pol andere, und zwar geringere Werte als die in Europa angestellten Beobachtungen. Hieraus ist gefolgert worden, dass die Erde nicht ein Rotationsellipsoid, sondern ein dreiachsiges Ellipsoid sei, nämlich ein kugelähnlicher Körper, dessen Parallelen und Äquator nicht Kreise sind, und wirklich kann ein solcher in gewissen Verhältnissen eine Gleichgewichtsfigur sein. Philipp Fischer¹⁾ machte hingegen geltend, dass die abnormen Ergebnisse der indischen Vermessung durch die Lage des Landes zwischen einem tiefen Meere und einem hohen Gebirge bedingt seien und ein glänzendes Zeugnis für die Lothablenkung des asiatischen Festlandes lieferten, indem sie nicht bloß eine örtliche Störung der normalen Schwererichtung, sondern eine ganz allgemeine anzeigen, welche sich über das ganze vermessene Gebiet erstreckt. Als aber das Sekundenpendel, jenes Instrument, welches äußerst geringfügige Abweichungen des Meeresspiegels von einer Rotationsellipsoidfläche festzustellen erlaubt, bis auf die Vorberge des Himalaya gebracht wurde, da verriethen sich in seinem Gange keineswegs jene Abweichungen, die erwartet waren, vielmehr passten ihre Ergebnisse recht wohl zu denjenigen, welche auf anderen Theilen der Erde ge-

¹⁾ Untersuchungen über die Gestalt der Erde. 1868.

zeitigt worden waren. Jüngst endlich kam durch eine neue Würdigung aller bislang ausgeführten Pendelbeobachtungen Helmert¹⁾ zu dem Resultate, dass dieselben überhaupt keine solchen Abweichungen des Meeresspiegels von der Oberfläche eines Rotationsellipsoides verriethen, wie man sie auf Grund der unregelmäßigen Gliederung der Erdoberfläche in Festland und Meeresräume erwarten sollte, nachdem der französische Astronom Faye direct ausgesprochen hatte, dass trotz aller Unregelmäßigkeiten der starren Erdoberfläche der Meeresspiegel mit mathematischer Genauigkeit ein Rotationsellipsoid darstellt. Nach dem heutigen Stande unserer Kenntnisse widerstrebt die Beobachtung also der Theorie. Hieraus zu schließen, dass die erstere oder letztere deswegen falsch sei, wäre wohl voreilig, so lange nicht alle Möglichkeiten, welche etwa übersehen worden sein könnten, objectiv erwogen sind.

Kann nicht im mindesten bezweifelt werden, dass die Berge, Gebirge und Festländer, soweit sie über die Erdoberfläche aufragen, auf jeden in der Umgebung fallenden Stein eine Anziehung ausüben und solchermaßen eine Lothablenkung bewirken, so ist andererseits wohl möglich, dass diese Ablenkung aufgehoben wird, wenn unter dem Berge minder schwere Massen vorhanden sind als ringsumher, wenn der Unregelmäßig-

¹⁾ Die mathematischen und physikalischen Theorien der höheren Geodäsie, Bd. II, S. 364.

keit in der Anordnung von Höhen und Tiefen auf der Erdoberfläche durch eine entsprechende Unregelmäßigkeit in der Anordnung leichterer und schwererer Massen im Erdinnern die Wage gehalten wird. Airy¹⁾ war der erste, welcher diesen Gedanken eines Gleichgewichtes der Massen in und auf der Erde aussprach. Dasselbe würde sich wie folgt äußern: Würde man von der Erdoberfläche bis zum Erdinnern gleichmäßig sich nach unten verjüngende und in den Erdmittelpunkt spitz zulaufende Schachte graben können, die auf der Erdoberfläche mit gleichem Querschnitte beginnen, so würde sich in jedem Schachte ein gleiches Gewicht von Erdreich vorfinden.

Zu einer ähnlichen Folgerung kann man auch auf anderem Wege gelangen, indem man die Aufmerksamkeit auf die Achsendrehung der Erde lenkt. Sobald ein Körper in Drehung versetzt wird, entwickeln sich in demselben Fliehkräfte, indem jedes einzelne seiner Theilchen fortdrängt, und zwar um so mehr, je schwerer dasselbe ist und je weiter es von der Drehungsachse entfernt ist. Im Gleichgewichte kann nur jener Kreisel sein, bei welchem die auf der einen Seite der Achse befindlichen Fliehkräfte genau ebenso groß sind wie die auf der andern Seite sich entwickelnden, denn wenn dies nicht der Fall ist, so zerren die auf der einen Seite entstandenen überschüssigen Fliehkräfte so lange an der Achse und verschieben dieselbe, bis sich Gleichge-

¹⁾ Philosoph. Transactions, Bd. CXLV, 1855, p. 101.

wicht hergestellt hat. Die Erde ist ein solch riesiger Kreisel, und zwar ein solcher, der schon im Gleichgewichte sich befindet und dessen Drehungsachse in Bezug auf den Erdkörper so gut wie fest liegt. Es muss also Gleichgewicht zwischen allen sich entwickelnden Fliehkräften herrschen, und in jedem beliebigen Schnitte durch die Erdachse müssen die beiderseits entstehenden Fliehkräfte sich die Wage halten. Betrachtet man nun aber die verschiedenen Achsialschnitte der Erde, so sieht man, dass dieselben von sehr verschiedener Gestalt sind. Schnitte durch die Erdachse gelegt, welche Nordamerika und Asien treffen, lassen zur Noth noch eine gewisse Ähnlichkeit der Theile auf beiden Seiten der Achse erkennen, aber ein Schnitt durch den Meridian von Wien zeigt nicht die geringste Symmetrie mehr. Da erscheinen auf der einen Seite Europa und Afrika, auf der andern liegen die Tiefen des pacifischen Oceans. Ebenso verschiedengestaltet sind die durch beliebige Schnitte erzielten Halbkugeln. Denkt man sich nun die Erde aus vollkommen homogener Masse bestehend, so könnte sie unmöglich bei ihren gegenwärtigen Oberflächenverhältnissen sich im Gleichgewichte befinden, wenn sie sich um ihre heutige Achse dreht, und sie würde ihre Drehungsachse allmählich verschieben, wobei sich der Nordpol wahrscheinlich den Nordgestaden des gewaltigen asiatisch-europäischen Festlandes nähern würde. Allein da dem so nicht ist, so ist zu schließen, dass die Unregelmäßigkeit in der oberflächlichen Massenvertheilung durch eine ent-

sprechende Anordnung der Massen im Innern ausgeglichen wird.

Wie ein solches Gleichgewicht zwischen den Erhabenheiten und Vertiefungen der Erdkruste einerseits und der Vertheilung leichterer und schwererer Massen im Erdinnern andererseits bewirkt werde, darüber gehen die Meinungen noch weit auseinander, und gemeinsam ist den verschiedenen Anschauungen nur, dass sie insgesamt den Ausgleich schon in geringer Tiefe sich als vollzogen denken, so dass über einem Niveau von etwa 100 *km* unter dem heutigen Meeresspiegel auf jedem Quadratmeter dasselbe Gewicht lasten würde. Dies setzt keineswegs große Unterschiede in der Dichtigkeit der untermeerischen und unterfestländischen Theile der Kruste voraus. Diese mit dem specifischen Gewichte des leichteren Granits (2·5), jene mit dem des schwereren Granits (2·6) würden einander völlig die Wage halten können.

Airy¹⁾ hat bereits 1855 die Theorie aufgestellt, dass die ganze feste Erdkruste auf dem flüssigen Erdinnern etwa so schwimmt wie die Eisdecke auf einem Flusse, welche von verschiedener Dicke ist. Dort, wo sich Schollen übereinandergeschoben haben, zeigt die Eisdecke Aufragungen, welche aber genau in entsprechender Weise mehr in das Wasser eintauchen als die dünneren Schollen, wie sie mehr als letztere aufragen. Dabei lastet auf gleich tiefen Stellen des Flusses

¹⁾ Philosoph. Transactions, Bd. CXLV, 1855, p. 101.

ganz dasselbe Gewicht, mögen beträchtliche oder geringfügige Schollen vorliegen. Nach Airys Vorstellung würden alle Festländer dicke Theile der Erdkruste darstellen, welche tief in das schwerere Erdinnere eingesunken sind, wogegen der Meeresboden aus dünneren Schollen besteht, welche nur flach über dem schweren Erdinnern schweben, so dass dieses unter dem Ocean in geringerer Tiefe angetroffen wird als unter dem Festlande.

O. Fisher¹⁾ hat diese Anschauung einer Theorie über die Erdkruste zugrunde gelegt, welche mancherlei Erscheinungen zu erklären imstande ist und namentlich einen Vorgang aufhellt, welcher durch gewisse geologische Beobachtungen angezeigt erscheint. Man hat nämlich wahrgenommen, dass durch ganze geologische Perioden sich Schicht auf Schicht in seichtem Wasser gelagert hat, ohne dass dieses zugeschüttet wurde, während von anderen Gebieten Schicht für Schicht weggenommen wurde, ohne dass sie abgetragen wurden. Im ersteren Falle scheint die Belastung mit neuen Schichten die Unterlage in die Tiefe gedrückt, im letzteren die Entlastung das Aufquellen der Unterlage bewirkt zu haben. Dies würde in bester Harmonie mit Fishers Darlegungen stehen: Belastet man eine Eisscholle, so sinkt sie ein in dem Maße, als sie belastet wird; entlastet man sie, so quillt sie in gleicher Weise auf. Also könnte es wohl auch mit den schwimmenden

¹⁾ Physics of the Earths Crust, 1881.

Schollen der Erdkruste geschehen. Der Reichthum der oceanischen Räume an vulcanischen Ausbrüchen gegenüber einer Armut an solchen in den Festlandsgebieten würde gleicherweise durch die Theorie erklärt werden, denn letztere setzt ja voraus, dass das flüssige Erdinnere in geringerer Tiefe unter den Meeren angetroffen wird als unter dem Festlande, es hätte unter den Oceanen den kürzesten Weg an die Oberfläche.¹⁾ Endlich könnte nach Fishers Theorie vielleicht das von Krümmel aufgedeckte Gleichgewicht von Meerwasser und den Festlandssockeln aufgehellt werden. Das Meerwasser nämlich würde auf den Schollen der Erdkruste nur als Belastung erscheinen, durch welche der Meeresboden umso mehr eingedrückt ist, je tiefer das Meer ist. Denkt man sich alles Meerwasser mit einem Male verschwunden, so würden $\frac{5}{7}$ der Erdoberfläche von einer ungeheuren Belastung befreit sein, die eingedrückt gewesenen Schollen würden förmlich aufquellen und ihnen würde das Erdinnere nachfolgen, wobei es von anderen Stellen sich entfernt, so dass hier die Schollen einsinken müssten. Nach Fishers Theorie drückt das Meerwasser nicht bloß Theile der Kruste ein, sondern hält auch andere durch sein Gewicht in der Schwebelage. Denkbar wäre sohin, dass es ganzen Continenten die Wage hielte, falls eine entsprechende Massenvertheilung²⁾ stattfände.

¹⁾ Vgl. Emil Rudolph, Ueber submarine Erdbeben und Eruptionen. Beiträge zur Geophysik, Bd. I, S. 225.

²⁾ Wie eine solche Massenvertheilung sein sollte, erhellt

Pratt¹⁾ selber hat für die von ihm aufgedeckte Thatsache eine ganz andere Erklärung gegeben. Er denkt sich die Erde als ursprünglich völlig flüssig, damals

aus nachfolgender Rechnung, die für Freunde des Problems eingeschaltet sein möge. Sei F das Areal des Festlandes, M jenes der Meere, h_1 die Höhen der Festländer und h_3 die Tiefe der Meere, ferner d_1 und d_3 die entsprechenden specifischen Gewichte, so ist nach Krümmel

$$F d_1 h_1 = M d_3 h_3.$$

Sei dann ferner h_2 die Dicke der Erdkruste zwischen Meeresboden und der flüssigen Unterlage, ferner d_1 das specifische Gewicht der Kruste unter den Festländern und d_4 jenes unter den Ozeanen, so ist nach O. Fisher

$$d_1 h_1 + d_1 h_2 = d_3 h_3 + d_4 h_2.$$

Oben zeigte sich, dass $d_1 h_1 = \frac{M}{F} \cdot d_3 h_3$ ist; setzt man diesen

Wert in vorstehende Gleichung ein, so erhält man

$$\frac{M}{F} \cdot d_3 h_3 + d_1 h_2 = d_3 h_3 + d_4 h_2$$

$$d_3 h_3 \left(\frac{M}{F} - 1 \right) = h_2 (d_4 - d_1)$$

$$d_3 \frac{h_2}{h_3} \left(\frac{M - F}{F} \right) = d_4 - d_1$$

Setzt man die Dichte des Meerwassers $d_3 = 1$, ferner

$\frac{M - F}{F} = 1.58$, so ergibt sich als Unterschied der Dichte der

Krustentheile unter dem Ocean und unter dem Festlande das 1.58fache Verhältniß der mittleren Meerestiefe zur mittleren Krustendicke. Sobald nun letztere ein Mehrfaches der mittleren Meerestiefe ist, was sehr wahrscheinlich ist, so ist jener Unterschied kleiner als 1.

¹⁾ Philosoph. Transactions, Bd. CXLIX, 1859, p. 747; Bd. CLXI, 1871, p. 335.

hatte sie eine rein sphäroidische Gestalt. Darauf bildete sich die Kruste durch Erstarrung, wobei sich die einzelnen Gesteine verschieden verhielten, die einen Theile dehnten sich aus und wuchsen empor zu Gebirgen oder Festländern, während andere sich zusammenzogen und die Meeresräume bildeten. In den aufgequollenen und zusammengezogenen Partien findet sich allenthalben dieselbe Masse; die Dichte der Festländer erscheint daher geringer als die des Meeresbodens. Man kann diese Vorstellung dadurch versinnbildlichen, dass man die ursprüngliche oberste Schichte der Erde mit einem Teige vergleicht, welcher in gleicher Dicke ausgestrichen war, dann aber verschieden stark aufgieng, hier üppig aufwuchs, dort zurückblieb und sohin eine sehr unregelmäßige Oberfläche bildete.

Nach Pratts Ansicht würden sich die hoch- und tiefgelegenen Theile der Erdoberfläche bereits bei der Erstarrung der Erdkruste, also in den entlegensten Urzeiten der Erdgeschichte gebildet haben, und sie würden alle Wechselfälle der geologischen Geschichte überstanden haben. In der That gibt es eine geologische Theorie, welche diese Ansicht verfiicht, es ist dies die Lehre von der Permanenz der Continente, welche namentlich in England zahlreiche Vertreter besitzt, in Deutschland aber jüngst manchen Widerspruch erfahren hat. Auch sind die höchsten Gebirge, welche nach Pratt die am meisten gequollenen Partien der ursprünglichen Kruste darstellen müssten, keineswegs uralt, sondern meist jugendliche Schöpfungen.

Der französische Astronom Faye,¹⁾ welcher, wie erwähnt, bei seinen Untersuchungen über die Erdgestalt zum gleichen Ergebnisse gelangt ist wie Airy und Pratt bei Verwertung der indischen Messungsergebnisse, endlich nimmt auch an, dass unter den Festländern die Kruste minder schwer als unter den Oceanen sei, jedoch sucht er diese Beobachtung nicht wie Airy und Pratt mit ursprünglichen Verschiedenheiten mancher Theile der Erdkruste in Beziehung zu setzen, sondern er erblickt in derselben lediglich eine Folgeerscheinung des Umstandes, dass große Theile der Erdoberfläche vom Meere bedeckt sind. Das Meer umspült die Erde wie das kalte Wasser einen Kühlapparat, an sein Auftreten knüpft sich vornehmlich die Abkühlung der Erde. Vergewärtigen kann man sich dies dadurch, dass am Meeresboden allenthalben sehr niedrige Temperaturen herrschen, die sich kaum über 0° erheben, während auf der Landoberfläche (im Meeresniveau) eine mittlere Temperatur von 15° herrscht. Nun ist bekannt, dass man beim Graben in der Tiefe auf immer höhere Temperaturen stößt; lässt man sich in einem Schachte herab, so bemerkt man, wie die Temperatur um 1° für je 30 m Tiefe steigt. Ein Schacht, der dreimal tiefer ist als der tiefste der Gegenwart, würde bis in die Tiefe des Meeresgrundes herabführen, und hier würde man unter dem Lande eine Temperatur von 135° antreffen, hier würde das

¹⁾ Comptes-rendus de l'Acad. des Sciences, Bd. XC, 1880, p. 1185 und 1414.

Wasser sieden, während es unter dem Meere hart am Gefrieren ist. Würde man nun aber noch mehr in die Tiefe dringen können, so würde man endlich Temperaturen von rund 2000° erreichen, bei welchen die Gesteine schmelzen würden, und höchst wahrscheinlich würde diese Temperatur in gleicher Tiefe, sowohl unter dem Lande als auch unter dem Meere angetroffen werden, nämlich etwa 60 km unter dem Spiegel des Oceans. Von dieser Tiefe aufsteigend würde man die Temperatur bis zum Meeresboden um 2000° sinken sehen, und es würde darnach die mittlere Temperatur der betreffenden Schichte 1000° betragen. Unter den Continenten aber begegnet man, wie erwähnt, einer mittleren Wärme von 135° in dem Niveau des Meeresgrundes, die Kruste unter den Festländern hätte sonach eine mittlere Temperatur von 1067° , sie wäre um 67° wärmer als die Kruste unter dem Meere. Die festen Gesteine aber dehnen sich beim Erwärmen aus. Sonach sind die wärmeren Gesteine unter den Festländern mehr ausgedehnt, also leichter als dieselben, aber kälteren Gesteine unter dem Meeresgrunde. Ein Gleichgewicht zwischen den einzelnen Krustentheilen würde sich jedoch hierbei noch nicht ergeben. Nimmt man an, dass sich die festen Gesteine beim Erwärmen um $\frac{5}{100000}$ ausdehnen, so würde sich im gewählten Beispiele herausstellen, dass die unter den Festländern gelegenen Krustentheile 1.00335 mal leichter als die unter den Oceans befindlichen sind. Schreibt man den Gesteinen unter dem Festlande ein spezifisches Gewicht

von 2·5 zu, so haben jene unter dem Meeresboden ein solches von 2·508, während sie ein solches von 2·58 haben müssten, um mitsammt der Meeresbedeckung den Festländern das Gleichgewicht zu halten.

Es fehlt nicht an den mannigfachsten Versuchen, um Beobachtung und Theorie mit einander zu versöhnen und zu erklären, warum der Meeresspiegel nicht die Lage besitzt, welche er nach der Oberflächengestalt der starren Erdkruste haben sollte, und Momente sehr beachtenswerter Art sind hierbei hervorgekehrt. Darüber, dass die Erdkruste von örtlich wechselnder Beschaffenheit ist, dass leichte und schwere Partien miteinander wechseln, und dass sohin die unterirdische Massenvertheilung neben der oberirdischen von wesentlicher Bedeutung für die Lage des Meeresspiegels ist, kann wohl kein Zweifel sein. Ob aber wirklich die unterirdische Massenvertheilung das genaue Spiegelbild der oberirdischen ist, so wie es die Theorien von Airy und Pratt verlangen, und wie es Faye annimmt, das ist wohl durch die Beobachtungen noch nicht genügend erwiesen, ja dem widerspricht die Erfahrung an manchen Orten völlig. Während man am Himalaya nicht den berechneten Betrag der Lothablenkung auffand, ist derselbe an anderen Gebirgen vorhanden, und jüngst noch zeigte die amerikanische Vermessung der Hawaiischen Inseln,¹⁾ dass hier das Loth ganz genau so abgelenkt wird und die Schwere ganz genau so ab-

¹⁾ Preston. Americ. Journ. of Sc., ser. III, vol. XXXVI, 1888, p. 303.

nimmt, wie dies nach der Beschaffenheit der Inseln zu erwarten ist. Auch widerspricht die geologische Erfahrung der Annahme, dass die Erdkruste sich in einem permanenten Gleichgewichte befindet, indem sie steten Wechsel in der Lage der einzelnen Krustentheile aufdeckt. Es haben die Gebirge ihre Höhen verändert, die Meere ihre Fläche und Tiefen, keiner der Züge im Relief der Erde kann als uralt gelten, und unter also wechselnden Verhältnissen kann ein Gleichgewicht auf der Erdkruste nur ein sehr vorübergehendes sein.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1889

Band/Volume: [29](#)

Autor(en)/Author(s): Penck Albrecht

Artikel/Article: [Theorien über das Gleichgewicht der Erdkruste. 415-440](#)