

Versuch einer Erklärung der durch Pendelbeobachtungen konstatierten Massendefekte unter Gebirgen und Hochländern.

Von

K. GUGLER.

Bekanntlich haben Schweremessungen mittels Pendelbeobachtungen an verschiedenen Stellen der Erde zu dem Ergebnis geführt, dass unter Gebirgen und Hochländern bedeutende Massendefekte vorhanden seien. Diese gewiss auffallende Tatsache wird von den Fachleuten einfach konstatiert und registriert, dagegen wird eine erläuternde Erklärung darüber nicht gegeben. Wohl aber findet man in Tagesblättern und sonst hie und da Erklärungsversuche aus Laienkreisen, welche meist sich auf folgende zwei Annahmen stützen. Entweder spricht man von grossen Hohlräumen im Erdinnern, oder man denkt an das Vorkommen von Massen von niederem spezifischem Gewicht in den Tiefen.

Zunächst ein Wort über die Grösse der gefundenen Massendefekte; es handelt sich hier durchaus nicht etwa nur um kleine Unregelmässigkeiten in der Massenverteilung, sondern um wirklich kolossale Beträge. So sagt z. B. Fr. Ratzel in seinem Werk „Die Erde und das Leben“, S. 105:

„Wir begnügen uns, die Tatsache anzuführen, dass das, was unter den Alpen an Masse zu wenig ist, ungefähr dem entspricht, was in den Alpen an Masse angehäuft ist. Die Auftürmungen in Gebirgen und Hochebenen bedeuten auch sonst keine Vermehrung der Masse der Erde an diesen Stellen. Diese Erhebungen werden ausgeglichen durch weniger dichtes Gefüge.“

Das kann doch nur so verstanden werden, dass Ratzel an das Vorkommen von leichten Mineralien (leichter als die gewöhnlichen Gesteinsarten) denkt.

Ferner findet Herr M. Haid (siehe Bericht des oberrheinischen Geologenvereins, Versammlung zu Konstanz am 26. April 1905) unter anderem bei Konstanz einen Massendefekt, der einer Gebirgsschicht von 610 m Mächtigkeit gleichkommt, wobei das spezifische Gewicht der Gebirgsschicht = 2,42 angenommen ist.

Zu der Annahme von Hohlräumen habe ich zu bemerken: In solchen Tiefen, von denen wir überhaupt noch etwelche Kenntnis haben, sind keinerlei Beispiele bekannt; man müsste sie also in viel grösseren Tiefen vermuten. Nun tritt aber schon in relativ mässigen Tiefen der Zustand ein, bei welchem die Last der überlagernden Schichten die Druckfestigkeit der Gesteine übersteigt. Ueber das Verhalten der Gesteine unter so grossem Druck hat Herr Professor Heim in dem Werk „Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung“ eingehende Betrachtungen angestellt, dahin führend, dass man unter solchem Druck den Gesteinen eine Art von Plastizität zuschreiben müsse, und wer dessen Ausführungen beipflichtet, der kann unmöglich an Hohlräume in grossen Erdtiefen glauben. Bei einem sehr festen Gestein, wie Granit z. B., würde der Zustand der latenten Plastizität schon in der Tiefe von 4000 m unter der Oberfläche eintreten.

Zu der zweiten Annahme von Massen von geringem spezifischem Gewicht bemerke ich: Mineralien von solchen Eigenschaften sind keine bekannt. Auch für die leichtesten, die man kennt, wie Gyps und Steinsalz, ist der Gewichtsunterschied zu wenig bedeutend, und zudem müssten die leichten Gesteine in ganz kolossalen Mengen vorhanden sein, um zur Erklärung der Massendefekte dienen zu können. Und wäre es da nicht verwunderlich, dass auch keine Spur solcher Mineralien in die uns zugänglichen Regionen sollte versprengt worden sein?

Nachdem ich so beide Erklärungen, sowohl Hohlräume als auch Massen von niederem spezifischem Gewichte, zurückgewiesen habe, habe ich mich bemüht, eine andere Erklärung beizubringen. Aus den Pendelversuchen geht soviel mit Sicherheit hervor, dass man in den Erdtiefen teils leichtere, teils schwerere Massen voraussetzen muss, und es bleibt die Aufgabe, sich über deren Lage und Verteilung eine Vorstellung zu machen. Mache ich nun die Annahme, die Gesteinshülle der Erde (vom spezifischen Gewicht = 2,5) reiche bis zu einer bestimmten Tiefe, und darunter folgen dann Schichten aus Massen von höherem spezifischem Gewicht, so brauche ich bloss zu schliessen, dass unter Gebirgen die leichtere Gesteinsschicht in entsprechend grössere Tiefe hinabreiche, als an Orten, wo keine Gebirge sind, und die Massendefekte sind einfach und natürlich erklärt.

Das spezifische Gewicht der Erde im Ganzen ist zu 5,6 bestimmt worden. Dies berechtigt zu dem Schlusse, dass im Erdinnern schwerere Massen vorhanden sein müssen, als an der Oberfläche, und zwar Massen von so hohem spezifischem Gewicht, dass man an Metalle denken muss. Ferner aus dem Umstande, dass die Meteorite vorwiegend aus metallischem Eisen bestehen, glaubt man schliessen zu dürfen, auch im Erdinnern werde metallisches Eisen den Hauptbestandteil bilden. Man hat nun ausgerechnet, bei Annahme eines Erdkernes vom spezifischen Gewicht des Eisens müsste die Gesteinshülle (vom spezifischen Gewicht = 2,5) eine Dicke von 800 km haben (annähernd $\frac{1}{8}$ des Erdhalbmessers).

Dieser Annahme kann ich mit gleichem Recht die folgende gegenüberstellen: Die Gesteinshülle reicht nicht bis in solche Tiefe, sondern in einer bestimmten Tiefe folgen darauf allmählich stets schwerere Massen und erst auf diese der metallische Erdkern. Ueberlege ich dann, welche Mineralien oder Gesteine für diese schwereren Massen in Frage kommen dürften, nämlich solche, bei denen ein massenhaftes Vorkommen auch genügende Wahrscheinlichkeit hat, so sehe ich mich auf folgende in erster Linie hingewiesen:

Basische erzreiche Eruptivgesteine.

Magneteisenstein, spezifisches Gewicht = 4,8.

Roteisenstein, spezifisches Gewicht = 5,2.

Von diesen Mineralien sind ungemein grosse Lagerstätten bekannt, z. B. im nördlichen Schweden, auf der Insel Elba, am Oberen See in Amerika und an anderen Orten. Da man sowieso annimmt, dass im Erdinnern das Eisen der weitaus vorwiegende Bestandteil sei, so gewinnt die Vermutung, dass Eisenerze von 75 % Eisengehalt eine Zwischenschicht zwischen dem metallischen Kern und der Gesteinshülle bilden könnten, eine weitere Wahrscheinlichkeit.

Zur näheren und genaueren Betrachtung der Sache sehe ich mich nun genötigt, einige bestimmte (zahlenmässige) Annahmen zu machen, und zwar:

1. Ueber die Mächtigkeit der Gesteinshülle vom spezifischen Gewicht = 2,5, diese sei gesetzt:

a) zu 40,000 m, b) zu 50,000 m, c) zu 60,000 m.

2. Ueber das spezifische Gewicht der tiefer liegenden Schichten. Unter der Annahme, dass dieselben aus Eisenerzen bestehen, setze ich dieses spezifische Gewicht = 5 und nenne sie vorläufig kurzweg „Erzschicht“, womit nicht gesagt sein soll, dass nicht auch andere Gesteine wie z. B. basische Eruptivgesteine etc. wesentlich daran beteiligt sein können.

Nun lässt sich folgende Berechnung aufstellen:

	km	km	km	km
Dicke d. Gesteinsschicht v. 2,5 spez. Gewicht angenommen zu	40	50	60	(800)
Dicke der Erzschrift vom spez. Gewicht 5 berechnet zu	1958	1922	1886	c
Halbmesser des Metallkerns berechnet	4372	4398	4424	(5570)
Gibt zusammen Erdradius	6370	6370	6370	6370

Die Resultate der Schwermessungen werden meist so ausgedrückt, dass man sagt, die an diesem oder jenem Ort gefundenen Massendefekte entsprechen einer Gesteinsschicht von so und so viel Metern Dicke. Man kann überhaupt das Gewicht der Massen, welches sich für die Flächeneinheit der Erdoberfläche (1 m^2) und eine bestimmte Tiefe berechnet, als das Mass der Schwere an dem betreffenden Ort betrachten.

Aus der Annahme, dass in einer bestimmten Tiefe auf die Gesteinsschicht vom spezifischen Gewicht 2,5 schwerere Schichten folgen, deren spezifisches Gewicht zu 5 angesetzt worden ist, ergibt sich nun, dass unter Gebirgen die Gesteinsschicht genau um ebensoviel tiefer hinabreichen muss, als die Höhe des Gebirges über dem Meer beträgt. Unter Zugrundelegung der oben gegebenen Zahlen sollen nun einige Beispiele angeführt werden, und zwar soll das Gewicht der Massen zwischen der Oberfläche und einer bestimmten Tiefe pro Quadratmeter ermittelt werden. Das Mass dieser Tiefe kann beliebig gewählt werden, nur muss dieselbe so gross genommen werden, dass die vermutete Ausgleichung innerhalb desselben fällt. Ich habe dieselbe angenommen zu 70,000 m unter dem Meeresspiegel. Bei Annahme einer Gesteinsschicht von 40,000 m Dicke findet sich dann

1. Ein Ort an der Meeresküste.

Dicke der Gesteinsschicht	40,000 m à 2,5 t =	100,000 t.
„ „ Erzschrift . . .	30,000 m à 5 t =	150,000 t.
	<u>70,000 m</u>	<u>250,000 t.</u>

2. Ein Gebirge von 3,000 m Meereshöhe.

Dicke der Gesteinsschicht	46,000 m à 2,5 t =	115,000 t.
„ „ Erzschrift . . .	27,000 m à 5 t =	135,000 t.
Tiefe unter der Oberfläche	73,000 m	250,000 t.
Tiefe unter Meer . . .	70,000 m	

3. Ein Meer von 3,500 m Tiefe.

Gewicht des Wassers . . .	3,500 m à 1 t =	3,500 t.
Gesteinsschicht	34,400 m à 2,5 t =	86,000 t.
Erzschrift	32,100 m à 5 t =	160,500 t.
	<u>70,000 m</u>	<u>250,000 t.</u>

4. Ein Meer von 8,000 m Tiefe.

Gewicht des Wassers	8,000 m à 1 t =	8,000 t.
Gesteinsschicht	27,200 m à 2,5 t =	68,000 t.
Erzschicht	34,800 m à 5 t =	174,000 t.
	<u>70,000 m</u>	<u>250,000 t.</u>

5. Ein Gebirge von 8,000 m Meereshöhe.

Dicke der Gesteinsschicht	56,000 m à 2,5 t =	140,000 t.
„ „ Erzschicht	22,000 m à 5 t =	110,000 t.
Tiefe unter der Oberfläche	78,000 m	250,000 t.
Tiefe unter Meer	70,000 m	

Würde man die Dicke der Gesteinsschicht statt 40,000 m, zu 50,000 m oder 60,000 m angenommen haben, so würde man für sämtliche Beispiele und die Tiefe von 70,000 m unter Meer jedesmal die gleichen Gewichte gefunden haben und zwar statt 250,000 t im ersten Fall 225,000 t, im zweiten 200,000 t.

Uebrigens braucht die Ausgleichung nicht notwendig bloss in der ungleichen Dicke der Erzschicht gesucht und eine ungestörte sphärische Oberfläche der Metallkugel als Ausgleichungsschicht angenommen zu werden. Die Ausgleichung kann auch darin liegen, dass der Metallkern unter den Gebirgen eingedrückt ist und die successive leichteren Gesteine auf dieser Einsenkung schwimmen. Dann greift das Ausgleichungsniveau zum Teil noch in die Barysphäre hinein.

Bei diesen Annahmen findet sich also, dass von einer bestimmten Tiefe ab die überliegende Last pro Quadratmeter stets ganz dieselbe ist, gleichgiltig, ob man ein hohes Gebirge oder ein tiefes Meer vor sich habe. Mit anderen Worten, die Forderung der „Isostasie“ ist vollständig erfüllt. Und diese Forderung halte ich für unabweisbar, wenn man nicht der festen Erdrinde eine solche Starrheit zuschreiben will, dass sie befähigt wäre, die ungeheuren Belastungen der Gebirge auf grosse Entfernungen und grosse Flächen zu übertragen und auszugleichen. Dies ist umso weniger denkbar, als man die Dicke der festen Erdrinde nicht beliebig gross annehmen darf, indem die nach dem Erdinnern zunehmende Temperatur in einer gewissen Tiefe den Grad erreichen wird, bei dem die Gesteine schmelzen.

Man könnte mir entgegenhalten, dass die Annahme leichterer Massen in der Tiefe die gleiche Berechtigung habe, wie die Annahme von schwereren Massen, von beiden wisse man gleichviel, oder besser gleich wenig. Aber ist es denn nicht viel natürlicher, die schwereren Massen in der Tiefe vorauszusetzen, als die umgekehrte Lagerung? Zudem hat noch niemand über die Beschaffenheit der supponierten leichteren Massen auch nur eine Vermutung auszusprechen vermocht

Ferner könnte man beanstanden, dass zwischen der Gesteinsschicht und der Erzschicht und zwischen der Erzschicht und der Barysphaere eine scharfe Trennung vorausgesetzt scheint. Dies war nur notwendig zum Zweck der Berechnung; man kann aber ebensogut einen gewissen allmählichen Uebergang zwischen beiden annehmen, ohne dass daraus an meinen Schlüssen eine wesentliche Aenderung folgen müsste.

Zum Schlusse möchte ich noch mit einigen Worten auf die Gebirgsbildung selbst zu sprechen kommen. Hier schliesse ich mich vollständig den Ansichten an, welche Herr Professor Heim in seinen „Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung“ dargelegt hat, und nach welchen die letzte Ursache der Gebirgsbildung in der fortschreitenden Abkühlung der Erdkugel zu suchen ist. Man wird sich das so vorstellen können, dass für die Erdrinde in bezug auf ihre Temperatur eine Art Beharrungszustand eingetreten sei, indem die von der Oberfläche abwärts dringende Abkühlung und die vom heissen Innern zugeleitete Wärme einander kompensieren, derart, dass Temperatur und Volumen der erstarrten Erdrinde unverändert bleiben, während gleichzeitig das heisse Erdinnere eine Abkühlung erleidet. Damit ist eine Volumverminderung verbunden, der Kern schwindet, die Rinde nicht; letztere muss sich also fälteln und runzeln, um dem schwindenden Kern nachsinken zu können. Dabei entstehen riesige horizontale Pressungen (Tangentialschub). Ich möchte hier auf die Ausführungen von Herrn Oberberggrat Wepfer in der Vierteljahrsschrift der Zürcher naturforschenden Gesellschaft, Jahrgang 1905, zweites Heft, verweisen. Herr Wepfer hat die Grösse dieser horizontalen Pressungen berechnet und unter seinen Voraussetzungen zu 17 Millionen Tonnen pro Quadratmeter gefunden. Dies allerdings unter der Voraussetzung, dass die oberen Erdschichten gar nicht mehr von ihrer Unterlage getragen werden, sondern ein freitragendes Gewölbe bilden müssten. Mag nun auch ein solches Gewölbe lange, bevor der Tangentialschub diese äusserste Grösse erreicht, zerdrückt und zerstört sein, jedenfalls ist der Beweis geliefert, dass diese horizontalen Pressungen sehr wohl diejenige Grösse erreichen können, welche die Auftürmung der Gebirge, sowie die Faltungen und Ueberschiebungen der Gebirgsschichten zu erklären vermag. Man bedenke ferner, dass die feste Erdrinde das, was sie durch die Zusammenpressung an horizontaler Ausdehnung verliert, an vertikaler Ausdehnung (Dicke) gewinnen muss. Die zusammengeschobenen Massen werden gleichzeitig nach oben und nach unten ausweichen, d. h. gleichzeitig mit der Gebirgserhebung wird auch das Hinabreichen der festen Rinde in grössere Tiefen bewirkt werden. Man könnte sich die Sache auch so vorstellen, dass durch den Zusammenschub zuerst ein sehr hohes Gebirge gebildet

wird, welches dann durch seine grosse Last wieder einsinkt und zwar soweit, bis der durch seitliche Verdrängung der tiefliegenden schwereren Massen sich bildende Auftrieb der Gebirgslast das Gleichgewicht hält.

Erst nach Abschluss dieser Arbeit wurde ich darauf aufmerksam gemacht, dass die hier etwas näher ausgeführte Erklärung für den Massendefekt unter Gebirgen andeutungsweise schon früher von Herrn Professor A. Heim gegeben worden ist und zwar zuerst in dieser Zeitschrift 1894, erstes Heft, Seite 83, und sodann im Bericht über den Geologenkongress von 1894 in Zürich, Seite 193. Die Uebereinstimmung kann wohl als Beweis für die Berechtigung dieser Auffassung gelten.

Zürich, im Mai 1906.