

Überreicht vom Verfasser.

Sonderabdruck aus dem Jahresbericht

der

Schlesischen Gesellschaft für vaterländische Cultur.

Naturwissenschaftliche Section.

Sitzung vom 28. Januar 1903.

L. Milch: Über die Entstehungsweise der Tiefengesteins-Massive.

---

Breslau.

Druck von Grass, Barth & Comp. (W. Friedrich) in Breslau.

Nachdem der Nachweis mit Sicherheit erbracht war, daß die körnig struierten massigen Gesteine, speziell die Granite, zwar als Schmelzfluß aus tieferen Teilen des Erdinnern in höhere emporgestiegen sind, aber niemals in schmelzflüssigem Zustande die Erdoberfläche erreicht hatten, entstand die schwierige Frage, wieso derartig gewaltige Massen, die bisweilen ganze Gebirge zusammensetzen, in der bereits verfestigten Erdrinde Platz finden konnten.

## I.

Man kann unter den auf diese Frage bisher erteilten Antworten allgemein zwei Richtungen unterscheiden, je nachdem für die Entstehung der räumlich am weitesten ausgedehnten Eruptivkörper, der Massive im engeren Sinne, das Vorhandensein von Hohlräumen im Erdinnern angenommen wird, oder die Ansicht vertreten wird, daß erst die Intrusion der schmelzflüssigen Massen in allen Fällen sich die Räume im Erdinnern geschaffen hat resp. mit der Entstehung dieser Räume in einem ursächlichen Zusammenhange steht.

Auf dem Standpunkt, daß Hohlräume im Erdinnern vorhanden sind, die gelegentlich von schmelzflüssigen Massen erfüllt werden und somit die Entstehung von gewaltigen Tiefengesteins-Massiven ermöglichen, steht Eduard Sueß in seinem Werke „Das Antlitz der Erde“. Er versucht auch eine Erklärung für die Entstehung derartiger Hohlräume: „Es ist unbedingt notwendig, daß der Injektion der granitischen Massen, welche eine so hohe Temperatur besaß, daß sie die Gesteine zu verändern im Stande war, die Bildung eines entsprechenden Hohlraumes vorausging . . . . . Vorgänge, wie an der belgischen Faille du Midi zeigen, daß ein tatsächliches Abheben einzelner Teile und ein Hinübertreten derselben über andere stattfinden kann. Dieses Abheben mag in der Tiefe namentlich bei ungleichmäßiger tangentialer Bewegung oder bei ungleichmäßiger Stauung recht häufig vorgekommen sein, am häufigsten in den Schieferzonen der Tiefe, welche hierzu am geeignetsten sind, und so mögen sehr große, mehr oder weniger linsenförmige Hohlräume gebildet worden sein, in welche sofort die granitische Masse eintrat, die Becken verändernd und Gänge in ihre Spalten sendend. . . . . Das Magma trat soweit ein, als der Abstau reichte und erstarrte in demselben zu einem felsigen Kuchen . . . .“ (Antlitz der Erde I p. 218, 1885).

Für die Entstehung der großen Tiefengesteins-Massive vertritt H. Rosenbusch eine sehr ähnliche Ansicht. In seinem Werke „Elemente der Gesteinslehre“ (Stuttgart 1901) führt er aus: „Durch die Dislokationen (Einsturz und Faltung) müssen innerhalb der festen Erdrinde unregelmäßig gestaltete Hohlräume von wechselnden, oft ungeheuren Dimensionen geschaffen werden, von denen aus Spalten seitlich und aufwärts in die dislozierten und stehen gebliebenen Gesteinsmassen oft sehr weit hin fortsetzen. Diese Einsturzräume füllen sich nun rasch oder allmählich mit Eruptivmagmen, welche von ihnen aus weiter in das Spalten- und Kluftnetz vordringen. Durch die Form der Dislokationsräume sind die Formen der Eruptivgesteinskörper gegeben. Die Ausfüllungsmassen der unregelmäßig gestalteten großen unterirdischen Einsturzräume nennt man typhonische Stöcke, Eruptivstöcke, Stöcke schlechthin oder Massive“ (p. 44, 45). Da jedoch die Eruptivmassen durch sehr großen Druck emporgetrieben werden, „so erklärt es sich, daß von den Eruptionskanälen aus die Eruptivmassen oft seitlich zwischen die Schichten des Sedimentgebirges in Form planparalleler oder plankonvexer Massen weithin eindringen, die über ihnen liegenden Gebirgsteile hebend und wölbend . . . . Die eingepreßten Massen heißen Lagergänge, Intrusivlager oder auch Lager schlechtweg, wenn sie planparallele Grenzflächen haben, Lakkolithe, wenn sie bei scheiben- bis glockenförmiger Gestalt nicht unbedeutende Dimensionen besitzen“ (p. 45).

F. Zirkel unterscheidet gleichfalls „entweder Injektion in vorgebildete Hohlräume oder Intrusion in Räume, welche sich das eingepreßte Magma durch Auseinandertreiben des Gesteins selber schuf.“ (Lehrbuch der Petrographie I, p. 539, 1893).

Die zweite Gruppe von Erklärungsversuchen geht von dem Gedanken aus, daß bei dem in den Tiefen der Erdrinde herrschenden gewaltigen Druck ein Stehenbleiben von Hohlräumen nicht wohl anzunehmen sei und sucht daher die Entstehung des Raumes für alle Fälle, also auch für die gewaltigen Massive, mit der Injektion des Magmas in Verbindung zu bringen.

Bei der besonders von W. C. Brögger (Die Eruptivgesteine des Christianiagebietes. II. Die Eruptionsfolge der triadischen Eruptivgesteine bei Predazzo in Süd-Tirol p. 116 ff. Christiania 1895) vertretenen Auffassung werden die an den nordamerikanischen und anderen Lakkolithen beobachteten Erscheinungen auf räumlich größere Verhältnisse übertragen und verallgemeinert. Es wird angenommen, daß auch die gewaltigen granitischen Magma-Massen auf Spalten in das kompakte Gestein hineingedrungen sind und, wie dies bei den typischen Lakkolithen direkt nachzuweisen ist, ihr Hangendes gehoben und uhrglasförmig aufgewölbt haben. Nach Bröggers Auffassung werden die Magmen mechanisch durch den Druck in die Höhe gepreßt, den einsinkende und auf Magma-Massen drückende

Teile der verfestigten Erdrinde auf schmelzflüssige Massen ausüben. Diese Anschauung wurde weiter ausgebildet durch W. Salomon; in seiner Arbeit: „Über Alter, Lagerungsform und Entstehungsart der periadriatischen granitisch körnigen Massen“ spricht er unter Bezugnahme auf Brögger den Satz aus, „daß granitische Massen Gebirge heben können, und diese Anschauung wird sich nur insofern von der einer nun bereits entschwundenen Generation unterscheiden, als wir die hebende Kraft nicht als eine mystische Eigenschaft des flüssigen Magma an sich betrachten. Sie ist nichts anderes, als der durch das Einsinken von festen Schollen in einen geschlossenen mit Flüssigem gefüllten Behälter hervorgebrachte Druck“ (Tschermaks mineralogische und petrographische Mitteilungen XVII p. 140. 1898).

H. Credner nimmt neben einer Erstarrung in durch die Intrusion des Magmas gebildeten unterirdischen Räumen zu Lakkolithen „eine Bildungsweise der Tiefengesteine in Explosionskanälen zu Stöcken“ an (Elemente der Geologie, 1902, p. 285).

Eine durchaus abweichende Auffassung vertritt A. Michel-Lévy. In seiner „Contribution à l'étude du granite de Flamanville et des granites Français en général“ (Bulletin des services de la carte géologique de la France, tome V 1893—1894, p. 317—357, Bull. No. 36. Paris 1893) spricht er es als seine Überzeugung aus, daß die granitischen Massen den von ihnen eingenommenen Raum im wesentlichen durch Einschmelzen der Salbänder sich geschaffen haben und durch von ihnen verursachte Verflüssigung des jeweiligen Hangenden sich den Weg in die Höhe gebahnt haben; von dem Granit von Flamanville wie von den sächsischen Vorkommen von Geyer, Zinnwald und Altenberg sagt er, daß sie die Schichten und Schiefer „wie mit einem Locheisen durchbohrt“ haben: A Flamanville, le granite perce comme à l'emporte-pièce des couches siluriennes . . . (l. c. p. 348, p. 32 des Separatabdruckes). In den meisten Granitmassiven erblickt er nur die obersten Teile gewaltiger stock- oder kegelförmiger Massen, die in gleicher oder zunehmender Mächtigkeit bis an die untere Grenze der festen, nach seiner Rechnung nur ungefähr 35 km dicken Erdrinde hinabreichen; die Zunahme nach der Tiefe wird durch die Fähigkeit des Magmas erklärt, die älteren Massen, die dem Schmelzfluß als Basis dienen könnten, sich zu assimilieren und in Gneißgranite und schließlich in Granite zu verwandeln. (Über die ähnliche „Fußgranithypothese“ Kjerulf's vergl. Brögger: Die Eruptivgesteine des Christianiagesbietes II [Predazzo] p. 119 ff. 1895.)

Zu einer sehr ähnlichen Auffassung gelangt Eduard Sueß in seinem Aufsatz: „Einige Bemerkungen über den Mond“ (Sitzungsberichte der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, Band 104, Abteilung I, p. 21 ff. Wien 1895). Er schafft den für den angenommenen Vorgang überaus bezeichnenden Namen der „Aufschmelzung“ und führt aus: „Wer die Kontakthöfe der Granit-

massen, die Umriss der letzteren und die sie umschwärmenden Apophysen betrachtet, mag sehen, in welchem ausgedehnten Maße Aufschmelzung von unten her innerhalb der äußeren Teile des Erdkörpers zu den verschiedensten Zeiten erfolgt ist, oft freilich, ohne die Oberfläche zu erreichen.“ (p. 52.)

Sowohl Michel-Lévy wie Sueß deuten als besonders beweisend für die Aufschmelzungstheorie auf die Granitmassen des sächsischen Erzgebirges; E. Sueß führt sie direkt als Beispiel für die „Aufschmelzung ohne Erreichung der Oberfläche (Batholithen)“ an (l. c. p. 54). Für „die westergebirgische Granitmassivzone“ versucht K. Dalmer die Richtigkeit dieser Annahme zu beweisen (Zeitschrift für praktische Geologie, VIII. p. 297 ff. 1900). Gerade diese klare Zusammenfassung Dalmer's sowie die seiner Arbeit beigegebene geologische Übersichtskarte läßt die petrographische Schwäche der Aufschmelzungstheorie deutlich hervortreten: Die Veränderungen, welche die angrenzenden Glieder der Phyllit-Formation erfahren haben, lassen nirgends Erscheinungen der Einschmelzung oder Übergänge in granitische Gesteine erkennen, sondern sind allenthalben Hornfelse und Fruchtschiefer. Wenn aber die granitischen Massen „langsam und allmählich — um einen drastischen Ausdruck zu gebrauchen — sich in das überliegende Schiefergebirge hineingefressen hätten“ (p. 308), müßten zweifellos die der Granitgrenze zunächst liegenden nicht eingeschmolzenen aber kontakt-metamorph beeinflussten Massen irgend welche auf Schmelzung zurückzuführende Eigenschaften zeigen und jedenfalls Zwischenglieder einer von normalem Schiefer zum Granit führenden Reihe darstellen. — H. Credner, der sich gegen die Aufschmelzungstheorie ablehnend verhält, (Elemente der Geologie 1902 p. 338) bezeichnet im Gegensatz zu den genannten Forschern die Granitstöcke des Erzgebirges „als Beispiele von Lakkolithen der mittleren Carbonzeit.“ (l. c. p. 487.)

Eine weitere Schwierigkeit für die Aufschmelzungstheorie besteht in der Vorstellung, daß durch Einschmelzung fester Massen Platz für empordringende schmelzflüssige Massen geschaffen werden soll, auch wenn der Schmelzfluss die Erdoberfläche nicht erreicht, die Tiefengesteine also nicht mit Oberflächen-Ergüssen in Beziehung stehen: Die eingeschmolzenen Massen nehmen im verflüssigten Zustande zweifellos nicht weniger Raum ein, als vorher im verfestigten, so daß durch die Einschmelzung selbst für das empordringende Magma eigentlich kein Raum gewonnen wird.

So gewichtige Gründe mithin der Erklärung der Tiefengesteins-Massive durch Assimilation und Aufschmelzung meiner Auffassung nach entgegenstehen, so soll mit diesen Ausführungen nicht etwa bestritten werden, daß eine Einschmelzung des Nebengesteins durch emporsteigende schmelzflüssige Massen auch in größerem Maßstabe möglich ist. Auch Brögger fügt seiner Bekämpfung der Michel-Lévyschen Anschauung ausdrücklich hinzu,

daß es ihm „wohl bekannt ist, daß in regionalmetamorphosierten Gebirgen die Resorptions- und Lösungsfähigkeit der Tiefenmagmen offenbar in manchen Fällen eine bei weitem grössere gewesen ist als in nicht regionalmetamorphosierten Gebieten, wie das Christianiagebiet. Es wäre somit denkbar, daß die Assimilations-Tätigkeit bei Tiefenmagmen gewissermaßen, wenn auch kaum direkt, eine Funktion des stattgefundenen Druckes gewesen sei.“ (l. c. p. 152.)

In diesem Zusammenhange möchte ich auf die Möglichkeit aufmerksam machen, daß die Annahme einer Einschmelzung des Nebengesteins durch Magmen während eines Aufenthaltes in größerer Tiefe vielleicht eine Eigentümlichkeit im relativen Mengenverhältnis der sauren und basischen Gesteine in den Gruppen der Tiefengesteine und der Ergußgesteine zu erklären vermag. Während unter den Ergußgesteinen die basischen Glieder von sehr alten Formationen an eine quantitativ jedenfalls sehr bedeutende Rolle gespielt haben, treten sie unter den Tiefengesteinen auffallend zurück; ihre Zahl verringert sich noch sehr erheblich, wenn man nur die hier allein in Betracht kommenden geologisch selbständigen basischen Tiefengesteine berücksichtigt, von basischen Differenzierungsprodukten also absieht. Nun herrschen in den uns bekannten tiefsten Teilen der Erdkrinde — die tiefer liegenden Zonen von unbekannter Zusammensetzung müssen notgedrungen außer acht gelassen werden — Gesteine, die reich an  $\text{SiO}_2$  sind und verhältnismäßig viel Tonerde und Alkalien enthalten: in derartige Gesteine intrudierte, primär saure Magmen werden daher sauer bleiben, ganz gleich, ob sie das Nebengestein einschmelzen oder nicht; bilden sich jedoch aus primär basischen Magmen Tiefengesteine, so ist es wohl denkbar, daß der Schmelzfluß infolge seines langen Verweilens in der sauren Nachbarschaft, des Einschmelzens der Salbänder und der mitgerissenen Fragmente der durchsetzten sauren Gesteine oftmals  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und Alkalien in erheblicher Menge aufnehmen muß und somit in vielen Fällen seine basische Zusammensetzung verliert. Effusivmassen hingegen, die verhältnismäßig schnell in höhere Teile der Erdkrinde und an die Erdoberfläche gelangen, werden die Ränder der Spalten gar nicht oder in viel geringerem Maße angreifen; daher können unter ihnen basische Gesteine in sehr viel größerer Menge vorkommen.

Auf die Tatsache, „daß unter den Tiefgesteinen die kieselsäurereichen vorwalten, während unter den Laven die basischen vorwiegen“, macht Reyer aufmerksam (Beitrag zur Physik der Eruptionen und der Eruptivgesteine p. 207, Wien 1877); er erklärt diese Erscheinung durch die verschiedene Viskosität der sauren und der basischen Magmen, die bewirkt, daß „bei einigermaßen bedeutender Wandreibung nur die leicht beweglichen Basalte hervordringen können, während das zähe kieselsäure-reiche Magma unter den gleichen Verhältnissen oft stecken bleiben wird.“

Eine endgültige und alle Tiefengesteins-Massive umfassende Lösung dieser Frage ist in der Gegenwart keinesfalls zu erwarten; vielleicht vermag eine spätere Zeit auf Grund sehr zahlreicher petrographischer Spezialuntersuchungen von Tiefengesteins-Massiven, wie sie gegenwärtig nur ganz vereinzelt erst vorliegen, zu sichereren Ergebnissen zu kommen. Eins scheint jedoch festzustehen: ein Teil der Granitmassive sind sicher Lakkolithe; die Forderung Michel-Lévy's, der für die Gesteine der Lakkolithe porphyrische Struktur verlangt, (*Sur quelques particularités de gisement du porphyre bleu de l'Esterel. Application aux récentes théories sur les racines granitiques et sur la différenciation des magmas éruptifs. Bulletin de la société géologique de France. XXIV, p. 123—138. 1896*) erscheint weder durch die tatsächlichen Beobachtungen, noch durch die Theorie durchgreifend bestätigt. Ich glaube auch nicht, wie es Brögger und Michel-Lévy tuen, daß die Bildung und das Bestehen von Hohlräumen in den oberen Teilen der Erdkruste theoretisch unmöglich ist; unmöglich erscheint mir nur aus den oben angegebenen Gründen die Entstehung von Tiefengesteins-Massiven durch Aufschmelzung, wobei jedoch die Möglichkeit des Einschmelzens von Nebengesteinsmassen und eine damit verbundene chemische Veränderung des Magmas, wie oben ausgeführt, nicht etwa für alle Fälle bestritten werden soll.

## II.

Vielleicht ist es nicht unfruchtbar, mit den Erwägungen über die Bildungsweise von Tiefengesteins-Massiven eine Reihe von geophysikalischen Beobachtungen zu verknüpfen, die meines Wissens in diesem Zusammenhange noch nicht behandelt worden sind.

Durch die Untersuchungen der modernen Geodäten ist es bekannt, daß die Gravitation durchaus nicht an jedem Punkte der Erdoberfläche dem für sie aus der Entfernung vom Erdmittelpunkte und der petrographischen Zusammensetzung ihrer sichtbaren Erhebungen berechneten theoretischen Werte entspricht, vielmehr erweist sich die beobachtete Schwere oft größer oder geringer als der theoretische Wert. Ein gegenüber der theoretischen Schwere beobachteter zu geringer Wert weist auf Massendefekte oder Dichtigkeitsverminderung, ein zu hoher auf Massenanhäufung hin.

Die Differenzen zwischen der berechneten und der beobachteten Schwere sind ziemlich bedeutend: Drückt man die Differenz zwischen theoretischem und gefundenem Werte durch die Dicke einer Gesteinschicht vom spezifischen Gewicht 2,4 aus, die man sich in der Höhenlage des Meeres unter dem betreffenden Orte kondensiert zu denken hat, so ergibt sich z. B. für das Engadin eine Dichtigkeitsverminderung, die dem Fehlen einer 1500 bis 1600 m dicken Schicht gleichkommen würde, während an anderen Stellen erhebliche Massenanhäufungen festgestellt

wurden. Zuerst sprach Airy in dem Aufsatz: „On the Computation of the Effect of the Attraction of Mountain-masses, as disturbing the Apparent Astronomical Latitude of Stations in Geodetic Surveys“ auf Grund der Mitteilungen Pratt's „On the Attraction of the Himalaya Mountains . . . upon the Plumb-line in India“ schon 1855 die Ansicht aus, daß die Höhenunterschiede der Oberfläche der festen Erdrinde für die Schwere durch die Anordnung der die Erde zusammensetzenden Massen mehr oder weniger ausgeglichen werden (Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Bd. 145. 1855 S. 101 ff. resp. S. 53 ff.). Später versuchten Pratt, Faye und Fischer aus diesen Tatsachen auf verschiedenen Wegen das Gleichgewicht der Erdkruste zu erklären; schliesslich führte Helmer 1890 auf Grund der Untersuchungen von Sterneck's (in den Mitteilungen des k. u. k. militärgeographischen Instituts Bd. 8 und 9 Wien 1888, 1889; die Untersuchungen wurden fortgesetzt) in den Tyroler Alpen und der für Himalaya und Kaukasus bekannt gewordenen Werte der Schwerkraft den Nachweis, „daß die Massen einiger der größten Hochgebirge mehr oder weniger durch unterirdische Massendefekte in den oberen Schichten der Erdrinde kompensiert sind.“ (Die Schwerkraft im Hochgebirge, besonders in den Tyroler Alpen in geodätischer und geologischer Beziehung, Veröffentlichung des Königl. Preussischen Geodätischen Instituts, S. 3. Berlin 1890). Fortgesetzte Untersuchungen\*) haben gelehrt, daß von den zahlreichen, auf diese Verhältnisse hin untersuchten Faltengebirgen innerhalb und außerhalb Europas sich bisher nur im Jura und im Harz derartige Dichtigkeitsverminderungen nicht ergeben haben; sie allein erscheinen bisher nicht kompensiert — vulkanische Gebiete und Senkungsfelder zeigen im Gegensatz zu den Faltengebirgen allenthalben Massenüberschuß.

\*) Ein Eingehen auf die sehr zahlreichen Untersuchungen über diesen Gegenstand fällt weit aus dem Rahmen der vorliegenden Abhandlung. Eine Übersicht über die Literatur findet sich in: S. Günther, Handbuch der Geophysik, 2. Auflage Bd. I S. 174 ff., Stuttgart 1897, ferner enthalten die „Verhandlungen der allgemeinen Konferenzen der internationalen Erdmessung und deren permanenten Commission“ von Helmer erstattete Berichte über die Messung der Schwerkraft (z. B. Nizza 1887, Brüssel 1892, Berlin 1895, Stuttgart 1899).

Zusammenfassende Darstellungen in leicht verständlicher Form finden sich in:  
A. Penck: Theorien über das Gleichgewicht der Erdkruste (Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftl. Kenntnisse in Wien, Bd. 29, 415 ff. 1889).

K. von Orff: Über die Hilfsmittel, Methoden und Resultate der Internationalen Erdmessung (Festrede, gehalten in der öffentlichen Sitzung der Kgl. bayrischen Akademie der Wissenschaften zu München am 15. Nov. 1899; München 1899, Verlag der k. b. Akademie).

M. Haid: Die modernen Ziele der Erdmessung (Festrede beim Rektoratswechsel, Karlsruhe 1901).

J. B. Messerschmitt: Die Verteilung der Schwerkraft auf der Erde (Geographische Zeitschrift, herausgegeben von Hettner, Bd. 7, S. 305 ff. spez. 314—319).



Im allgemeinen berechtigen diese Untersuchungen zu der Annahme, daß vertikale Prismen von gleichem Querschnitt, die man sich von der Oberfläche der Erde bis in genügende Tiefe herausgeschnitten zu denken hat, annähernd gleiche Masse enthalten, daß somit die absolute Höhe, bis zu der sich ein derartiges Prisma erhebt, für die in dem Erdausschnitt enthaltene Masse einflußlos ist.

Die Dichtigkeitsverminderungen oder Massendefekte sind nach Ansicht der Geodäten durchaus nicht durch die Annahme von Hohlräumen zu erklären. Helmert sagt: „Diese Massendefekte unter den Hochgebirgen wird man sich im allgemeinen nicht als große Hohlräume zu denken haben, da deren Erhaltung selbst bei Erfüllung mit Flüssigkeiten oder hochgespannten Gasen zweifelhaft ist und da zur Erklärung der Defekte die Annahme von Dichtigkeitsverminderungen im Betrage von wenigen Prozenten genügt, dergestalt also, daß die Kontinentalmassen unterhalb der Hochgebirge ein etwas geringeres spezifisches Gewicht besitzen, als unterhalb der Niederungen“ (Schwerkraft im Hochgebirge, S. 48). Nach Messerschmitt „genügt es zur Erklärung der geringeren Schwere in den Alpen, anzunehmen, die entsprechenden Schichten haben bis zu einer Tiefe von etwa 200 km eine um wenige Prozent geringere Dichte, als die umgebenden Schichten der Erde“ (Verteilung der Schwerkraft auf der Erde, S. 320).

Um nun die große Häufigkeit von Tiefengesteins-Massiven in gefalteten Gebirgen zu erklären, braucht man meines Erachtens nicht anzunehmen, daß Spalten von den oberflächlich gefalteten Teilen der Erdrinde bis in die Tiefen des Erdinnern hinabreichen müssen, um das Emporsteigen schmelzflüssiger Massen in höhere Teile der Erdrinde zu ermöglichen; man kann sich vielmehr vorstellen, daß der auf dem Erdinnern lastende normale oder durch geologische Vorgänge verstärkte Druck schmelzflüssige Teile des Erdinnern auf den Gebieten verminderter Dichtigkeit als den *loci minoris resistentiae* emportreibt — derartige geschwächte Teile der Erdrinde sind aber gerade, wie die Schweremessungen ergeben haben, die unter den Faltengebirgen liegenden, durch die an der Oberfläche die Gebirge auftürmenden Vorgänge gelockerten Partien der Erdkruste. Einmal in die Höhe gepreßt, können diese schmelzflüssigen Massen bis in die sich faltenden Teile der Erdrinde hineindringen und bei der Faltung entstehende Hohlräume gewissermaßen in *statu nascendi* erfüllen oder vielleicht auch, wie Salomon will, ihrerseits zur Hebung der Schichten beitragen; sie können seitlich in die Nebengesteine eindringen und als echte Lakkolithe Aufwölbung des Hangenden hervorrufen. Es ist aber auch nicht nötig, daß die Intrusion sich immer zeitlich an die Auftürmung des Gebirges bindet: Die Dichteverminderung bleibt zunächst bestehen und ein wachsender Druck auf das Erdinnere kann lange nach der Entstehung des Gebirges zu einem Aufsteigen der schmelzflüssigen Massen in dem unter dem Gebirge liegenden

Teile der Erdkrinde Veranlassung geben. Auf diesem Wege können bei der Faltung entstandene und erhalten gebliebene Hohlräume lange nach ihrer Bildung vom Magma erfüllt werden, es kann sich aber an derartige spätere Intrusionen natürlich auch echte Lakkolithbildung knüpfen.

Diese Annahme erspart die schwierige Vorstellung der in gewaltige Tiefe hinabreichenden Spalten als Zuführungskanäle für den Schmelzfluß, die außerdem durch Auskristallisation des auf ihnen aufsteigenden Magmas in den obersten Teilen bald verstopft werden müßten und sich somit als Zuführungskanäle für so ungeheure Massen, wie sie uns in zahlreichen Tiefengesteins-Massiven vorliegen, schwerlich als geeignet erweisen. Bei der hier entwickelten Anschauung kann man auf die Spalten, welche im Zusammenhange von der Oberfläche bis in schmelzflüssige Teile hinab die Erdkruste durchsetzen, verzichten und annehmen, daß die emporgepreßten schmelzflüssigen Massen die aufgelockerten Partien zurückdrängen, wobei diese teilweise wieder verdichtet werden können, oder auch explosionsartig sie durchschlagen und zur Seite treiben.

Vielleicht erscheinen auf den ersten Blick die Dichtigkeitsverminderungen unter den Gebirgen zu gering, als daß man die Injektion der Tiefengesteine auf sie zurückführen dürfte; man darf aber nicht vergessen, daß die heute gemessenen Dichtigkeitsverminderungen nach dieser Auffassung nur einen Rest der ursprünglichen darstellen, da ja in die aufgelockerten Massen neues und zwar spezifisch ziemlich schweres Material hineingedrungen ist. Für diese Auffassung spricht auch der Umstand, daß der „Massendefekt“ unter den höchsten Gebirgen am größten ist. Von der Dichtigkeitsverminderung sind nicht die das sichtbare Gebirge aufbauenden Gesteine betroffen — für sie wären ja die Werte viel zu groß —, sondern diejenigen Massen, welche tiefere Teile der Erdkruste unter dem Gebirge bilden; die Dichtigkeitsverminderung steht also mit der Höhe, die ein Gebirge heute aufweist, direkt in keinem genetischen Zusammenhange. Nicht einmal indirekt kann ein derartiger Zusammenhang vermutet werden: Die heutige Höhe des Gebirges ist infolge des schon während der Entstehung des Gebirges einsetzenden Abtrages, der jedes Gebirge je nach Maß und Dauer der Erosion als einen größeren oder kleineren Rest der aufgetürmten Massen erscheinen läßt, nicht einmal ein Maß für die Stärke der gebirgebildenden Kraft und somit eventuell für die Auflockerung der darunter liegenden Erdkrinde. Die Annahme, es habe etwa unter den Alpen, weil sie heute höher sind, als das Riesengebirge, eine stärkere Zerrüttung der Erdkrinde stattgefunden, als unter den deutschen Mittelgebirgen, wäre somit durchaus ungerechtfertigt, und doch hat die Erfahrung gelehrt, daß die Gebirge für die Gravitation in der Regel annähernd kompensiert sind, höheren Gebirgen also größere Dichtigkeitsverminderungen entsprechen. Dieses tatsächlich bestehende, aus der Entstehungsweise der Gebirge nicht erklärliche gerade Verhältnis zwischen heutiger Höhe der Gebirge und gegenwärtiger

Dichtigkeitsverminderung beruht meines Erachtens auf dem ausgleichenden Einfluß, den die Zeit auf die beiden ursächlich miteinander verbundenen Störungen des Gleichgewichts ausübt: Die geringere oder größere Höhe der heutigen Gebirge ist im wesentlichen eine Folge der längeren oder kürzeren Zeit, die seit der Auftürrung des Gebirges vergangen ist; je älter aber ein Gebirge und somit die zugehörige Dichtigkeitsverminderung in dem entsprechenden Abschnitt der Erdrinde ist, in desto höherem Grade konnte die Dichtigkeit durch Nachsinken der obersten Teile der Erdrinde wieder zunehmen, desto häufiger war die Möglichkeit für das Eindringen von schmelzflüssigen Massen gegeben, umsomehr mußte also die ursprüngliche Dichtigkeitsverminderung wieder ausgeglichen werden. Wie groß die primäre Dichtigkeitsverminderung war, dafür fehlt uns natürlich jeder Maßstab.

In diesem Zusammenhange darf wohl an die Tatsache erinnert werden, daß eines der wenigen nicht kompensierten Gebirge, der Harz, auffallend reich an basischen, spezifisch schweren Eruptivmassen ist, deren Einwirkung auf das Lot durch K. A. Lossen festgestellt wurde; auch die Lotablenkungen weisen nach den Erörterungen dieses Forschers hier auf das Vorhandensein gewaltiger basischer Eruptivmassen in der Tiefe. (Über den Zusammenhang der Lotablenkungswerte auf und vor dem Harze mit dem geologischen Bau dieses Gebirges, *Mitteil. der Ges. naturforschender Freunde, Berlin 1881, S. 19 ff.*)

Das Auftreten von Eruptivmassen in ungefaltetem Gebirge widerspricht den hier vorgetragenen Anschauungen durchaus nicht, denn man kennt, wenn auch seltener, sehr erhebliche Dichtigkeitsverminderungen unter Gebieten, in denen eine Faltung nicht nachzuweisen ist. Es genügt wohl, in diesem Zusammenhange auf die gewaltige Störung bei Moskau hinzuweisen, wo in einem Gebiete von über 80 km nordsüdlicher und 115 km ostwestlicher Ausdehnung durch Schweremessungen bedeutende Unregelmäßigkeiten in der lokalen Massenverteilung der oberen Teile der Erdrinde nachgewiesen sind, welche die Oberflächenbeschaffenheit in keiner Weise vermuten ließ. [Vergl. hierüber: Verhandlungen der Permanenten Commission für die Internationale Erdmessung zu Nizza vom Jahre 1887, p. 37 des Berichtes von Helmert über die Lotabweichungen, ferner das Referat von de Tillo in dem *Compte rendu de la VII. Session du Congrès geologique international*, p. CLXXXV St. Petersburg 1897, das in dem Satze gipfelt: *On peut donc affirmer, que nos strates horizontales cachent des perturbations orographiques encore inconnues (p. CLXXXVI).* Collet führt eine ähnliche Schwerestörung bei Bordeaux unter ausdrücklicher Bezugnahme auf die russischen Beobachtungen auf die Nachbarschaft des alten (abgetragenen) hercynischen Gebirges zurück (*Sur l'anomalie de la pesanteur à Bordeaux, Ann. de l'Université de Grenoble, tome 7, No. 1, 1895.*)]

Ich bin mir vollkommen bewußt, mit diesen Ausführungen den Boden der tatsächlichen Beobachtungen verlassen und mich in das Gebiet der Hypothesen begeben zu haben, doch liegt es in der Natur der Tiefengesteine begründet, daß vorläufig für keinen Versuch, ihre Entstehungsweise einheitlich und allgemein zu erklären, ein strenger Beweis möglich oder denkbar ist — scharf formulieren lassen sich nur die Schwierigkeiten, die sich jedem Erklärungsversuch entgegenstellen. Die Erfahrung, daß durchaus verschiedene Vorgänge in der Gesteinswelt untereinander stofflich oder ihrem geologischen Auftreten nach schließlich sehr ähnlich erscheinende Gebilde hervorbringen, schützt vor der Gefahr, nur eine einzige Ursache für die Entstehungsweise der Tiefengesteins-Massive auffinden zu wollen; die vorliegenden Bemerkungen sollen nur zeigen, daß neben und zusammen mit anderen Ursachen auch die nachgewiesene verschiedene Dichtigkeit der Erdrinde zur Erklärung der Entstehung der Tiefengesteins-Massive herangezogen werden kann und muß.

