

Sitzungsberichte

der

mathematisch-physikalischen Classe

der

k. b. Akademie der Wissenschaften

zu München.

Band XXXII. Jahrgang 1902.

München.

Verlag der k. Akademie.

1903.

In Commission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth).

Ueber die Möglichkeit den Gegensatz zwischen der Contractions- und Expansionstheorie aufzuheben.

Von A. Rothpletz.

(Eingelaufen 18. November)

Diese beiden Theorien scheinen sich gegenseitig auszuschliessen und die Anhänger der einen sind gewöhnlich auch Gegner der anderen. Gegenwärtig jedoch gibt es nur wenige Anhänger der Expansionstheorie und um so mehr Gegner oder doch Ungläubige. Das hat seinen Grund darin, dass die Entstehung der Ketten- oder Faltengebirge im Vordergrund des allgemeinen Interesses steht und dass für sie die Contractions- theorie entschieden die einfachste und am leichtesten verständliche Erklärung liefert. Welcher vorsichtige Beobachter kann sich der Ueberzeugung verschliessen, dass Faltung und Ueberschichtung — die charakteristischen tektonischen Formen der Kettengebirge — mit Zusammenschub der festen Erdrinde verknüpft sein und die vielen im Laufe der geologischen Perioden entstandenen Gebirge eine erhebliche Verkürzung oder Verkleinerung dieser Rinde hervorgebracht haben müssen? Wie aber könnte dies möglich sein, wenn das Erdinnere sein Volumen nicht verringerte oder gar vergrösserte? Und wie vortrefflich stimmt diese Forderung mit jener anderen überein, dass die Erde durch Ausstrahlung von Wärme in das Weltall sich langsam abkühlt, erstarrt und dabei sich zusammenzieht!

Nimmt man jedoch die vulkanischen Erscheinungen zum Ausgangspunkt, dann treten diese Forderungen leicht in den Hintergrund. Durch die feste und dicke Erdkruste dringen

von unten herauf in cylinder- oder spaltenförmigen Kaminen überheisse und flüssige Schmelzmassen, um entweder an der Oberfläche überzufließen und sich zu weiten Decken auszubreiten oder um zu zerspritzen und in die Luft geschleudert zu werden, aus der sie als vulkanische Tuffe wieder niederfallen. Oder aber es dringen gewaltige plutonische Massen von unten in die Erdrinde ein, ohne bis zu ihrer Oberfläche heraufzusteigen, aber sie verdrängen ausgedehnte Theile derselben und krystallisiren in den eroberten Gebieten zu granitischen Gesteinsmassen aus. Zugleich pressen sie sich in die bereits erhärteten Gesteinsschichten ihrer Umgebung hinein in Form viel verzweigter Adern, Gänge und Apophysen, oder sie imprägniren diese Schichten förmlich mit ihren Bestandtheilen von Feldspath, Quarz etc. Ausserdem sind Erdbeben und locale Hebungen mit den vulkanischen Eruptionen häufig verknüpft und so scheint denn alles dies darauf hinzuweisen, dass in grösseren Tiefen eine Kraft thätig ist, welche die Massen ihrer eigenen Schwere und der darauflastenden Erdkruste zum Trotz zwingt, diese zu durchbrechen oder zu heben. Solche Wirkungen stehen so wenig mit einer Contraction des Erdkernes im Einklang, dass ausschliessliche Betrachtung vulkanische Vorgänge wohl niemals zur Contractionstheorie geführt hätte. Was sie zur Erklärung fordert, ist nicht Contraction, sondern Expansion des Erdinneren. Aber wie soll diese zu Stand kommen, da doch die Erde Wärme abgibt, sich also abkühlen muss? Ausgehend von der längst bekannten Thatsache, dass einige Stoffe, wie das Wasser und Wismuth, beim Uebergang von dem flüssigen in den festen Zustand ein grösseres Volumen einnehmen, so wie von einigen allerdings nicht ganz einwandfreien Experimenten mit geschmolzenen Erzen hat man die Möglichkeit in Erwägung gezogen, dass auch die anderen Stoffe im Innern der Erde, wo sie ungeheurem Druck und sehr hohen Temperaturen ausgesetzt sind, sich vielleicht, entweder beim Uebergang in den festen Zustand oder überhaupt bei Verminderung der Temperatur, ausdehnen könnten. Mit diesen experimentell allerdings auf ihre Richtigkeit nicht controllir-

baren Annahme hätte man eine Expansionskraft zur Verfügung, die ohne weiteres alle vulkanischen Erscheinungen aufs beste erklärte. Denn wenn das Erdinnere sich ausdehnt, wird die Erdkruste zu eng; sie wird also auseinander gezogen, Risse und klaffende Spalten müssen entstehen, auf denen wie durch Sicherheitsventile die überhitzten Massen aus der Tiefe aufsteigen, in die Kruste in Form von granitischen Stöcken und Lagergängen eindringen oder dieselbe durchbrechen und auf der Aussenseite Vulkane aufbauen.

Die Befriedigung, welche dieses Ergebniss gewährt, ist aber von kurzer Dauer, sobald wir uns wieder den Kettengebirgen zuwenden, bei denen nicht Ausdehnung sondern Zusammenschub erklärt sein will. Versuche sind gemacht worden, auch diesen als eine Folgewirkung der Expansion aufzufassen, aber niemand wird sich verhehlen können, dass diese Versuche auf schwachen Füßen stehen, und jedenfalls lange nicht so einleuchtend und überzeugend sind wie die Erklärungen durch die Contractionstheorie.

Gegenüber solchem Misserfolg könnte nur theoretischer Fanatismus seinen Trost darin finden, dass auch umgekehrt die dort siegreich gebliebene Contractionstheorie hier an der Erklärung der vulkanischen Erscheinungen Schiffbruch leiden muss. Aber selbst diesen hat man von der anderen Seite in Abrede zu stellen versucht und zu Gunsten der Contractions- theorie die Meinung vertreten, dass die in Folge Schwindens des Erdkernes zusammenbrechende und einsinkende Erdkruste auf die im geschmolzenen Zustande befindlichen Massen des Kernes einen solchen Druck ausüben werde, dass diese in wogende Bewegung kommen und an solchen Stellen, wo die Erdkruste sich noch selber trägt, von unten an sie heranbranden müssen und dabei in beim Einbruch der Rinde entstandene Spalten heraufgepresst werden. Also im Grunde soll die Gewalt der einsinkenden Rindentheile selbst es sein, welche die geschmolzenen Massen aus der Tiefe emportreibt.

Was bisher zur Begründung solcher Annahme vorgebracht wurde, ist weit entfernt von einer exacten und überzeugenden

Beweisführung und es mögen hier nur vier Bedenken dagegen geltend gemacht werden.

1. Man hat die Vorstellung des vermutheten Vorganges durch schematische Bilder zu unterstützen versucht, die aber wie z. B. fig. 127 in dem sonst so vorzüglichen *Traité de Géologie* von de Lapparant soweit von den thatsächlichen Verhältnissen abweichen, dass sie entschieden abgelehnt werden müssen. Solche profilmäßige Darstellungen der Erdkruste, welche Continente und Meeresbecken in ihrer gegenseitigen Beziehung zur Anschauung bringen wollen, müssen im richtigen Verhältniss der Höhe zur Länge entworfen werden, und es darf die Krümmung der Erdoberfläche nicht unberücksichtigt bleiben. Es hat schon vor mehr als 50 Jahren Élie de Beaumont hervorgehoben, dass sowohl die Wasseroberfläche wie der Boden der Océane in diesem Falle nach oben convex gekrümmt erscheinen und dass die Bodenlinie flacher gekrümmt und mithin kürzer ist als die Wasseroberflächenlinie. Der muldenförmig eingebogene Theil der Erdkruste erscheint auf einer richtigen Zeichnung mithin nicht als ein concaver sondern als ein ebenfalls aber nur weniger stark convexer Streifen, der somit auf seiner Unterseite keine Ausdehnung, sondern im Gegentheil Zusammenpressung zeigt.

2. Wenn man als Ursache des Sinkens der Erdkruste den Schwund des Erdkernes gelten lassen will, so darf man doch nicht voraussetzen, die Kruste könne sich selbst auch nur für kurze Zeit nach Art eines Kugelgewölbes frei tragen. Der entstehende tangential Druck müsste sofort die Druckfestigkeit der Krustengesteine um ein Vielfaches überschreiten und diese zermalmen. Es kann aber auch kein Hohlraum zwischen Kern und Kruste entstehen und weder von einem Niederstürzen einzelner Rindentheile auf den schwindenden Kern noch von lokaler Druckentlastung die Rede sein.

3. Da die Erdkruste specifisch leichter als der Kern ist, so ruht sie gewissermassen schwimmend auf demselben. Wenn die Oberfläche des Kernes aber durch Contraction kleiner wird, so findet die Unterseite der Kruste nicht mehr Platz

genug auf ihr, es entsteht Spannung in der Kruste, die alsbald die Druckfestigkeit der Gesteine überwindet und zu seitlichem Zusammenschub führt, bis die Unterfläche sich wieder in das richtige Verhältniss zur Oberfläche des Kernes gesetzt hat. Dieser Zusammenschub muss aber etwa vorhandene klaffende Spalten oder sonstige Hohlräume sofort fest schliessen, und er versperrt somit den geschmolzenen Kernmassen alle Wege, auf denen sie aufsteigen könnten.

4. Trotzdem haben thatsächlich ungeheure Massen von unten herauf ihren Weg in die Erdkruste gefunden und sich darin ausgebreitet, so dass sie jetzt in Gestalt granitischer Gesteine Räume von Hunderten von Kubik-Kilometern einnehmen und entsprechende Massen der Kruste verdrängt zu haben scheinen. Damit dieses Eindringen Folge des Druckes der niedersinkenden Erdkruste sein, also entstehen könnte zu einer Zeit, da in der Kruste starke tangentielle Spannung und seitlicher Zusammenschub herrschen, müsste die aufsteigende und noch nicht verfestigte Masse jedenfalls schon eine ebensogrosse Druckfestigkeit wie die festesten Gesteine der Erdkruste haben und ausserdem eine besondere Expansionskraft besitzen, um sich den weiten Raum in der Kruste zu erobern. Es scheint aber unmöglich, solche Annahmen physikalisch zu begründen.

So bleibt denn nichts anderes übrig als zu erklären, dass die Contractionstheorie, obschon sie sehr geeignet ist die Entstehung der Faltengebirge zu erklären, in Bezug auf die plutonischen und vulkanischen Vorgänge gänzlich versagt. Wir stehen also zwei sich gegenseitig ausschliessenden Theorien gegenüber, von denen keine ganz genügt. Eine dritte Theorie aber, zu der wir unsere Zuflucht nehmen könnten, gibt es nicht.

In dieser Nothlage müssen wir nach allen Seiten Ausschau halten, wo der Fehler in unserer Argumentation liegen kann. So fassen wir alles nochmals kurz zusammen: Vulkanismus ist in der Hauptsache eine centrifugale, die Faltung der Kettengebirge eine tangentielle Bewegung. Beide Be-

wegungsarten wollten wir unmittelbar aus der Wärmeabgabe der Erde an das Weltall ableiten, indem wir das eine Mal annahmen, dass diese Wärmeabgabe eine centripetale, das andere Mal, dass sie eine centrifugale Bewegung im Erdkerne erzeuge. Das ist aber ein Entweder-Oder, denn die zwei Annahmen schliessen sich anscheinend einander aus.

Zweierlei Vorgänge, die wir als gleichzeitige voraussetzten, können natürlich nicht aus zwei sich ausschliessenden Ursachen hervorgehen. Wäre es aber nicht vielleicht möglich, dass wir gerade in jener Voraussetzung der Gleichzeitigkeit geirrt hätten? Wir sind an dieselbe allerdings so sehr gewöhnt, dass sie uns selbstverständlich erscheint. Dennoch müssen wir uns entschliessen, sie auf ihre Berechtigung zu prüfen.

Die erste Lehrerin für den Geologen ist die Gegenwart, sie wollen wir also zuerst befragen. Wir sehen allenthalben auf der Erde — wenn auch oft in weiten Abständen — Vulkane in Thätigkeit. Sie liegen auf den Festländern und im Meere, sie schleudern theils periodisch theils nur in unregelmässigen Zeitabständen Asche und Bomben in die Luft oder ergiessen Lavaströme über ihre Umgebung. In den Zwischenzeiten beschränken sie sich darauf, Gase auszuhauchen. Mag man vielleicht auch zur Meinung berechtigt sein, dass in manchen früheren geologischen Perioden die vulkanische Thätigkeit viel bedeutender war, so ändert das nichts an der Thatsache, dass auch unsere Zeit eine Periode solcher Thätigkeit ist.

Ob in der Gegenwart auch Intrusionen von plutonischen Gesteinen stattfinden, lässt sich nicht durch Beobachtung feststellen, aber längst erloschene Vulkane älterer Perioden, deren unterirdische Theile durch Dislocationen und Erosion blossgelegt worden sind, lehren uns, dass häufig genug die oberirdische vulkanische Action von plutonischen Intrusionen begleitet wurde. Es ist deshalb nicht unwahrscheinlich, dass solche auch heute noch sich bilden.

Erdbeben sind häufige Ereignisse. Die Ursachen der sog. tektonischen Beben, die nicht unmittelbar mit vulkanischen Ausbrüchen in Verbindung stehen, kennen wir nicht, aber es

ist möglich, dass sie Begleiterscheinungen von vulkanischen Ereignissen sind, die sich innerhalb der Erdkruste abspielen, ohne die Oberfläche zu erreichen.

Mit vulkanischen Ausbrüchen und solchen Erdbeben kommen zuweilen auch locale Hebungen der Erdkruste vor. Ausserdem sind Hebungen grosser continentaler Gebiete sicher festgestellt, die nicht mit solchen gewaltsamen Ereignissen in Beziehung stehen und so langsam vor sich gehen, dass sie erst durch Jahre lange genaue Messungen erkannt werden können.

Centrifugale Bewegungen sind somit in der Gegenwart vorhanden, aber umsonst hat man bisher nach den Spuren tangentialer Bewegungen gesucht. Kettengebirge, Faltungen im grossen Massstabe sind in historischer Zeit nicht entstanden, denn die continentale Hebung, von welcher Skandinavien ergriffen ist, kann nicht unter diese Art von tektonischen Vorgängen eingereiht werden.

Die Gegenwart zeigt sich somit unverkennbar als eine Periode vulkanischer Thätigkeit, centrifugaler Bewegung, während die Wirkungen tangentialer Bewegung alle einer früheren Zeit angehören.

Beiderlei Bewegungen müssen also nicht gleichzeitige sein, das lehrt uns die Gegenwart mit Sicherheit.

Da liegt nun die Vermuthung nahe, dass sie sich vielleicht überhaupt ausschliessen? Wenn wir darüber uns Klarheit verschaffen wollen, ist es nothwendig Perioden zu untersuchen, in denen Kettengebirge entstanden sind. Jedenfalls am günstigsten dafür wird die Tertiärzeit sein, weil in diese die Entstehung unserer grössten Kettengebirge und ebenso bedeutende Vulkanausbrüche fallen.

Der Kaukasus ist ein typisches Faltengebirge, das vorwiegend aus Meeressedimenten aufgebaut wird, deren ursprünglich horizontal gelagerten Schichten in zahlreiche Falten zusammengeschoben worden sind. In dem entstehenden Gebirge haben sich tiefe Thäler eingeschnitten und, nachdem die Faltung zum Stillstand gekommen war, immer weiter vertieft. Dann erst öffneten sich die vulkanischen Kanäle und bauten

sich die Riesenvulkane des Elbrus, Kasbek u. s. w. auf, von denen zahlreiche Lavaströme an den Thalgehängen zum Theil bis auf die Thalsohlen herabließen. Hier kann man darüber nicht im Zweifel sein, dass einer Periode intensiver Faltung, also tangentialer Bewegung, eine andere grosser vulkanischer Thätigkeit gefolgt ist.

Im Kettenjura der Schweiz haben wir ebenfalls ein tertiäres Faltengebirg, in dem aber weder plutonische noch vulkanische Gesteine bekannt sind. Es beweist uns also, dass hier jedenfalls in die Periode tangentialer Bewegungen keine Vulkanausbrüche fielen.

Fassen wir nun die Alpen ins Auge, so muss zunächst constatirt werden, dass die Faltungen dieses Gebirges sich auf zwei Perioden vertheilen. Die erste Periode gehört der mittleren Oligocän-, die zweite dem Ende der Miocän-Zeit an. Von den vielen vulkanischen Gesteinen der Alpen sind weitaus die meisten älter als diese mitteltertiären Faltungen (z. B. die palaeoz. Diabase und Quarzporphyre, die Porphyrite und Melaphyre der Trias und die eocänen Basalte). Für uns kommen deshalb nur diejenigen Basalt-, Trachyt- und Serpentin-durchbrüche in Betracht, welche oligocänen oder noch jüngeren Alters sind. Da ergibt sich nun, dass die Trachyte bei Cilli in der südlichen Steiermark erst in der oberoligocänen und untermiocänen, die Basalte der östlichen Steiermark aber im Pliocän, die ersteren also in der Zwischenzeit zwischen beiden Faltungsperioden, die letzteren nach der letzten Faltungsperiode eruptirt sind. Ebenso steht es fest, dass die Basalt- und Serpentingänge in den rhätischen Alpen nicht während, sondern erst nach der ersten Faltungsperiode entstanden sind. Also hier wie im Kaukasus schliessen sich die Perioden vulkanischer Thätigkeit und der Gebirgsfaltung gegenseitig aus.

Was hingegen die Granitstöcke betrifft, an denen die Alpen so reich sind, so eignen diese sich für unsere Untersuchung weniger, weil es meist nicht möglich ist, ihr genaues Alter festzustellen. Darauf käme es aber vor allem an. Wenn also z. B. in neuerer Zeit das tertiäre Alter der Tonalit-

stöcke Südtirols angenommen werden will, so muss dem gegenüber festgestellt werden, dass wir in Wirklichkeit sicher nur wissen, dass sie jünger als die Trias oder ein Theil der Trias sind, weil sie die Gesteine dieser Periode metamorphosirt haben. Sie können freilich noch erheblich jünger sein, aber wir haben zu einer bestimmten Altersangabe keine zuverlässigen Anhaltspunkte. Es liesse sich noch eine Anzahl anderer tertiärer Gebirgsketten anführen, für welche ein zeitliches Auseinanderfallen der vulkanischen und der Faltungsvorgänge nachweisbar ist. Doch will ich mich in dieser Beziehung auf die Erwähnung beschränken, dass mir kein Gebirg bekannt ist, in dem die beiderlei Vorgänge sich gleichzeitig abgespielt haben. Ob andere solche Gebiete kennen, weiss ich nicht, wenn es aber der Fall sein sollte, wäre eine Mittheilung darüber sehr erwünscht, da bei der Weitläufigkeit des Beweismateriales nur gemeinsame Arbeit Vieler gesicherte Ergebnisse verspricht.

Eine Entscheidung mit Bezug auf die vortertiären Gebirge ist natürlich mit noch grösseren Schwierigkeiten verknüpft, weil die Altersbestimmung der einzelnen Vorgänge um so unsicherer wird, je weiter sie in der Vergangenheit liegen. Doch ist es auffällig genug, dass, um nur dies eine Beispiel zu erwähnen, die gewaltigen Porphy- und Melaphyreruptionen des Rothliegenden erst nach den weitausgedehnten Faltungen eingetreten sind, welche die älteren Ablagerungen des rheinischen Schiefergebirges, des Harzes, Thüringerwaldes und Erzgebirges betroffen haben, und dass soweit das Rothliegende selbst von Faltungen ergriffen worden ist, diese vulkanischen Gesteinsmassen geradeso wie die mit ihnen wechsellagernden Sandsteine, Conglomerate, Kalksteine und Dolomite gefaltet wurden zu einer Zeit, in der ihre Eruption längst in der Vergangenheit lag.

Ich schliesse daraus auf die Wahrscheinlichkeit, dass nirgends und zu keiner Zeit Gebiete unserer Erdkruste gleichzeitig der Schauplatz vulkanischer Eruptionen und von Gebirgsfaltung gewesen sind. Dieses Ergebniss stimmt aber mit demjenigen genau überein,

zu dem wir bereits gelangt sind, dass nämlich in der Gegenwart die Erde nur der Schauplatz vulkanischer Eruptionen, nicht aber auch von Gebirgsfaltungen ist.

Ich höre hier den Einwand machen, dass damit noch gar nichts gegen den Synchronismus der vulkanischen und Faltungsvorgänge bewiesen sei, denn es sei leicht möglich und vielleicht sogar selbstverständlich, dass in Faltungsgebieten vulkanische Ausbrüche wegen des seitlichen Zusammenpressens nicht eintreten können, dass sie dafür aber um so intensiver an anderen Stellen zum Durchbruch gelangen. Die postalpinen und postkaukasischen Eruptionen in den Alpen und dem Kaukasus brauchen in der That in keinen causalen Zusammenhang mit der Faltung dieser Gebirge gesetzt zu werden, sie können ja die Folge späterer anderweitiger Faltungsprocesse sein, während deren jene Gebirge nicht mehr im Zustand der Zusammenpressung sich befanden.

Wir müssen also nachforschen, ob ausserhalb der bekannten Kettengebirge vulkanische Gesteine bekannt sind, deren Eruption gleichzeitig mit dem Faltungsprocesse jener Gebirge stattgefunden hat, mit anderen Worten, ob Beweise dafür existiren, dass die vulkanischen und Faltungsvorgänge zwar gleichzeitig aber örtlich von einander getrennt auftreten.

Dagegen spricht allerdings von vornherein, worauf schon früher hingewiesen worden ist, die Erfahrung aus historischer Zeit, aber man könnte einwenden, dass diese doch im Verhältniss zur Länge der geologischen Perioden zu kurz sei, um daran eine für unsere theoretischen Anschauungen so bedeutungsvolle Schlussfolgerung zu knüpfen.

Wenn man von allen vulkanischen Eruptionen und allen Gebirgsfaltungen genaue Kenntniss ihres Alters und ihrer Dauer hätte, so bräuchte man sie nur alle aufzuzählen und gegen einander zu stellen, um sofort die Frage nach dem Fehlen eines Synchronismus beantworten zu können. Man wage aber nur einen solchen Versuch, dann tritt die Unmöglichkeit einer derartigen Beweisführung sofort zu Tage. Die Mangelhaftigkeit unserer synchronistischen Formationstabellen

ist jedem Geologen bekannt für alle die Fälle, wo es sich um Vergleiche weit von einander abliegender oder in ihrer Facies stark sich unterscheidender Ablagerungen handelt. Dazu kommt, dass der Zeitpunkt für viele, insbesondere aber für die älteren Gebirgsfaltungen, die vulkanischen und insbesondere die plutonischen Bildungen nur innerhalb sehr weiter Grenzen festgelegt werden kann, die zur Entscheidung der uns vorliegenden Fragen oft viel zu unbestimmt sind.

Leichter könnten wir zu einem greifbaren Ergebniss kommen, wenn wir nach Beweisen für den Synchronismus suchen, denn dann brauchen wir nicht alle einschlägigen Fälle zu untersuchen und es würde nur ein einziger genau geprüfter Fall von Synchronismus genügen, um die Behauptung zu widerlegen, dass vulkanische und Faltungsvorgänge in unserer Erdkruste sich einander zeitlich ausschliessen. Vielleicht gelingt es anderen einen solchen Fall ausfindig zu machen, mir ist dies bis jetzt nicht gelungen. Dahingegen haben sich gegen-theilige Fälle in Menge ergeben, von denen ich diejenigen, welche auf die Alpenfaltung Bezug haben, aufzählen will.

Das Alpengebirg hat, wie bereits erwähnt, zwei Faltungsperioden, die erste in der Zeit des mittleren Oligocäns, die zweite am Ende der Miocänzeit erlebt. Im Norden der Alpen, aber nicht weit davon entfernt, liegen die zahlreichen Zeugen wenn auch kleiner Vulkandurchbrüche auf der schwäbisch-bayerischen Juratafel. Soweit ihr Alter bestimmt werden konnte, fallen sie in die mittlere Miocänzeit, wohin auch die viel umfangreicheren Basalteruptionen Hessens gestellt werden, während diejenigen des Siebengebirges dem Untermiocän angehören. Viel jünger sind die wahrscheinlich diluvialen Vulkane der Eifel. In Nordböhmen begannen die Basaltausbrüche erst mit der oberoligocänen Periode und die zahlreichen Eruptionen Ungarns scheinen sich, wenn schon ihre Altersbestimmungen in vielen Fällen zweifelhaft sind, auf drei Perioden zu vertheilen, nämlich auf das Obereocän und Unteroligocän, dann auf das Oberoligocän und Miocän mit Trachyteruptionen und endlich auf das Ende der Congerienstufe und den Anfang der Pliocän-

zeit mit Basalteruptionen. Mit Bezug auf die Alpenfaltungen haben wir somit eine praealpine, eine interalpine Trachyt- und eine postalpine Basalt-Eruptionsperiode, nur fällt es auf, dass der Zwischenraum zwischen den beiden letzteren, geologisch gesprochen, recht kurz war. Auch die vulkanischen Ausbrüche des französischen Centralplateaus lassen sehr deutlich drei Perioden erkennen, von denen die erste im mittleren Miocän liegt und zu Ende der Miocänzeit erlischt, während die zweite mit dem Pliocän anhebt, während die dritte dem Diluvium angehört.

Alle diese Thatsachen deuten darauf hin, dass auch in der weiteren Umgebung des Alpengebietes vulkanische und Faltungsvorgänge sich zeitlich einander abgelöst haben. Wir können also von einem periodischen Wechsel derselben so lange sprechen, als keine vulkanische Eruptionen namhaft gemacht werden, welche ohne Unterbrechung die mittlere Oligocän- oder die jüngere Miocänzeit ausgefüllt haben. Angenommen jedoch es hätten solche wirklich existirt, dann würde sich daraus in Verbindung mit der Thatsache, dass auch während der Trias- und Juraperiode, die wir für die Gebirgsfaltungen als Zeiten der Ruhe zu betrachten gewöhnt sind, in den Südalpen, in Amerika und Asien eine Menge von Eruptivgesteinen zu Tage getreten sind, der Satz ableiten lassen, dass die vulkanischen Vorgänge zu den dauernden Begleiterscheinungen der erdgeschichtlichen Entwicklung gehören, während Gebirgsfaltungen nur periodische Ereignisse darstellen. Auch dieses Ergebniss stünde mit den Erfahrungen im Einklang, die wir aus der historischen Zeit gewonnen haben. Beiden Möglichkeiten gemeinsam ist, dass sie die Möglichkeit ausschliessen, die vulkanischen Vorgänge als unmittelbare Folgen des Einsinkens einzelner Schollen der Erdkruste aufzufassen.

Damit sind wir jedoch unversehens vor ein neues Hemmniss eigner Art gelangt, nämlich unsere Abneigung periodische Wiederholungen in der Entwicklungsgeschichte der Erde gelten zu lassen, wenn sie uns ursächlich nicht verständlich sind.

Den Wechsel von Tag und Nacht, Sommer und Winter, Ebbe und Fluth anerkennen wir zwar unbedenklich, weil er handgreiflich und leicht erklärbar ist. Aber welche Schwierigkeiten waren zu überwinden, bis die Existenz einer grossen Eiszeit, auf die wieder eine wärmere, die jetzige Periode folgte, zugegeben wurde! War doch eine gleichmässig fortschreitende Abkühlung der Erde und ihres Klimas viel einleuchtender. Die Brutalität der Thatfachen hat uns nur allmählich gezwungen, den Widerstand aufzugeben, und jetzt sind wir sogar bereit an die mehrfache Wiederholung von glacialen und interglacialen Perioden zu glauben, trotzdem für ihre Entstehung noch immer keine genügende theoretische Begründung gefunden ist.

Der Widerstand, der sich voraussichtlich auch gegen die hier ausgesprochene Wahrscheinlichkeit des periodischen Wechsels zwischen centripetalen und centrifugalen Bewegungen der Erdkruste erheben wird, kann mit Erfolg natürlich nur überwunden werden, wenn Nachforschungen auf allen Theilen der Erde, ähnlich wie für die Eiszeiten, zu übereinstimmenden Ergebnissen führen. Selbstverständlich lässt sich heute der Erfolg noch nicht mit Sicherheit voraussehen, den solche Untersuchungen zeitigen werden. Aber letztere fallen jedenfalls ausschliesslich in das Arbeitsgebiet des thätigen Feldgeologen und bleiben unabhängig davon, ob eine Theorie ihre Ergebnisse erklären kann oder nicht. Gleichwohl mag es von Nutzen sein darauf hinzuweisen, dass die theoretische Physik in neuerer Zeit auf Bahnen wandelt, die der Annahme jener Periodicität nicht ungünstig sind.

Man ist geneigt vorauszusetzen, dass die krystalline Erdkruste einen gasförmigen Erdkern umschliesst, der so hohe Temperaturen besitzt, dass sich die Gase alle im überkritischen Zustande befinden und in Folge des hohen Druckes thatsächlich doch mit festen Massen grosse Aehnlichkeit besitzen. Die Wärmeabgabe der Erde nach Aussen erzeugt in diesem Kerne Contraction als eine centripetale beschleunigte Bewegung. Nach den Berechnungen A. Ritters ist es denkbar, dass diese Bewegung sich in Wärme umsetzt, die an Menge um ein

Vielfaches grösser ist als die Wärmemenge, aus deren Abgabe die Contractionsbewegung hervorgegangen ist. Für die Erde wäre demnach Wärmeabgabe nach aussen nicht gleichbedeutend mit Wärmeverlust, sondern im Gegentheil von erheblicher Wärmezunahme in dem gasförmigen Kerne gefolgt. Es handelt sich hierbei um allerdings sehr langsame Bewegungen, deren Bedeutung jedoch in der Grösse der bewegten Massen liegt.

Geht man von einem Ruhezustande aus, in dem die centripetale Tendenz der Massen und die centrifugale Wirkung der Wärme im Gleichgewicht sind, dann wird derselbe durch Wärmeabgabe nach aussen gestört. Es entsteht im Kern Contraction und in der Erdkruste tangentielle Spannung, die zu Gebirgsfaltungen führt. Nach einer gewissen Zeit erlangt aber die Wärme die Ueberhand und erzeugt entgegengesetzte Bewegung. Die Erdkruste wird für den sich ausdehnenden Kern zu eng, es entstehen Hebungen einzelner Theile (continentale Hebungen), die Kruste wird stärker erwärmt (Steigen der Geoisothermen), in der Kruste entsteht statt tangentialer Spannung Tendenz zum Zerreißen und Auseinanderweichen (Spaltenbildung), und die überheissenen Massen des Kernes steigen in die Region der Kruste empor (plutonische Injectionen und vulkanische Durchbrüche). Hierdurch wird der Ueberschuss an Wärme allmählich aufgebraucht und es muss schliesslich wieder ein Zeitpunkt eintreten, in dem Druck und Wärme ins Gleichgewicht gekommen sind. Sogleich wird die fortgesetzte Wärmeabgabe nach aussen nun wieder Contraction erzeugen und damit eine Wiederholung der geschilderten Vorgänge einleiten.

So ist also immerhin schon ein Weg gegeben, auf dem für jene Periodicität, falls sie den geologischen Thatsachen gegenüber sich dauernd bewähren sollte, eine theoretische Begründung gesucht werden kann. Freilich ist vieles noch ungeklärt, insbesondere die Länge jener Perioden, welche vom geologischen Standpunkte aus als sehr bedeutend angenommen werden muss. Denn die historische Zeit hätte als ein Theil nur der letzten Expansionsperiode zu gelten. Ob es aber möglich sein wird auf jenem theoretischen Weg zu ähnlich

langen Perioden der Contraction und Expansion zu gelangen, kann erst die Zukunft lehren. Die geologischen Thatsachen scheinen übrigens dafür zu sprechen, dass die Contractionsperioden kürzer als die anderen sind.

Trotz aller Unsicherheit im Einzelnen und in den Voraussetzungen lässt sich soviel doch wohl mit einiger Berechtigung behaupten, dass schwerwiegende theoretische Bedenken gegen die Annahme jener Periodicität nicht bestehen, und wenn sich auch der hier skizzirte Erklärungsversuch als unhaltbar erweisen sollte, so würde das noch nichts gegen die Richtigkeit der Periodicität selbst beweisen.
