

3. Ueber die neue Theorie des Vulkanismus des Herrn R. MALLET,

Von Herrn J. ROTH in Berlin.

In der theoretischen Geologie nimmt, wenn man von dem auf die Organismen bezüglichen Theil absieht, die Lehre vom Vulkanismus einen wesentlichen Platz ein. Sie umfasst die Lehre von den Vulkanen, den Erdbeben, der Hebung der Continente und Gebirgsmassen, der Gasquellen und Thermen und steht in engster Verbindung mit der Lehre vom Metamorphismus. A. v. HUMBOLDT definirte bekanntlich den Vulkanismus (oder die Vulkanicität) als den Inbegriff aller Erscheinungen, welche der noch fortwährend wirksamen Reaction des Innern der Erde gegen ihre Rinde und Oberfläche zuzuschreiben sind. Er bezeichnet es „als einen nicht geringen Fortschritt der neueren Geognosie, dass sie für diese ganze Kette von Erscheinungen eine gemeinschaftliche Ursache, die innere Wärme unseres Planeten, erkannt hat.“*)

Die Worte „Reaction gegen die Rinde“ weisen hin auf den schwierigsten und dunkelsten Theil der Geologie, auf die Anfänge der Erde. Hier, wo ausser der Geologie noch Astronomie, Physik, Chemie und Mechanik ein gewichtiges Wort mitzureden haben, prägt sich in dem Wechsel der Anschauungen der Fortschritt jener Disciplinen auf das Deutlichste aus. Die Ansicht, die Erde habe einst sich in feurigflüssigem Zustande befunden, darf als die jetzt allgemein angenommene und durch eine Reihe von Schlüssen wohl gestützt gelten. Aber über den Verlauf der Abkühlung, über die Beschaffenheit, Dicke, Erhaltung der Erstarrungskruste, über den Zustand des Kernes, über die zwischen Kruste und Kern befindlichen Schichten und folglich auch über die Theorie des Vulkanismus gehen die

*) Kosmos 1. pag. 209.

Ansichten weit auseinander, wie ich für einen Theil derselben in dem Aufsatz über Metamorphismus (1871) gezeigt habe.

Im Anschluss an die Arbeit von R. MALLET: Volcanic energy: an attempt to develop its true origin and cosmical relations (Phil. Transact. Royal Soc. Vol. 163. I. pag. 147 bis 227. 1873) soll im Folgenden dessen Theorie des Vulkanismus erörtert werden.

Aus den gesammten Beobachtungen in Schächten, artesischen Brunnen und Bohrlöchern — das tiefste Bohrloch, das bei Sperenberg, reicht etwa 3900 Fuss unter den Meeresspiegel — lässt sich kein Gesetz ableiten für den Gang der Temperaturzunahme in der Tiefe; denn bei den sichersten Beobachtungen entsprechen schon unterhalb 1000 Fuss die geothermischen Tiefenstufen nicht mehr den höher gelegenen: sie wachsen, aber nicht nach einem erkennbaren Gesetz. Ohnehin muss in der meist nicht homogenen Masse die Wärmeleitung eine verschiedene sein. Für eine gegebene grössere Tiefe lässt sich daher die Temperatur nicht berechnen und für eine gegebene Temperatur nicht die Tiefe. Ebenso wenig lässt sich angeben, wie hoch überhaupt die Temperatur im Innern steigt. Ist sie, wie höchst wahrscheinlich, wenigstens unterhalb der aus den plutonischen Gesteinen gebildeten Tiefen so hoch, dass das seiner Beschaffenheit nach unbekannte, sicher mit hohem specifischem Gewicht begabte Material feurigflüssig ist, so fragt es sich, wie weit circulirende Strömungen dort die Temperatur ausgleichen und welche Wirkungen der ungeheure Druck auf die innersten Massen hervorbringt. Aus dem Vorkommen mancher Metalle und aus den geringen Mengen einer Anzahl chemischer Elemente in der uns bekannten Kruste darf man folgern, dass in der Tiefe die uns bekannten Gesteine durch anderes Material ersetzt werden. Die von manchen Seiten gemachte Annahme, unsere plutonischen Gesteine (Maximum des spec. Gew. = 3) könnten im geschmolzenen Zustande das hohe spec. Gewicht der Erde (5—6) erzeugen, setzt voraus, „dass die Zusammendrückung der Körper zu jedem denkbaren Grade sich steigern könne, ohne jemals

die Grenze zu erreichen, jenseit welcher eine wesentliche Aenderung der Compressibilität eintreten kann.“*) Abgesehen davon, dass die hohe Temperatur des Erdinnern ausdehnend wirkt und einen Theil der Compression aufhebt.

Aus dem Schmelzpunkt der plutonischen Gesteine, welcher je nach ihrer Beschaffenheit zwischen 1200—1600° liegt, und aus der als arithmetisch fortschreitend angesehenen Wärmezunahme in der Tiefe berechneten A. v. HUMBOLDT, ARAGO, ÉLIE DE BEAUMONT, ANGELOT**), G. BISCHOF, STUDER***) die Dicke der starren, aus den bekannten plutonischen Gesteinen bestehenden Kruste zu 5,3 bis 7 geographischen Meilen. (CORDIER entnahm aus sehr kleinen, in Steinkohlengruben gefundenen geothermischen Tiefenstufen und aus sehr hoch angenommenem Schmelzpunkt der Laven (100° Wegdwood) ein Mittel von 14 geogr. Meilen. Alle diese Annahmen setzen eine Wärmezunahme nach arithmetischer Progression voraus, welcher die Beobachtungen widersprechen. NAUMANN†) sucht die Heimath der flüssigen Lava „wohl erst in 30, 40 oder mehr Meilen Tiefe“ und nimmt††) nach den topischen Verhältnissen der Vulkane an, dass die Dicke der Kruste „wahrscheinlich nirgend über 50 Meilen beträgt.“

Aus den Werthen der Nutation der Erdaxe und der Präcession der Nachtgleichen schloss HOPKINS auf eine wenigstens 172 bis 215 geogr. Meilen dicke Kruste. Seine Gründe sind namentlich von DELAUNAY†††) angegriffen worden. So viel ist klar: bei dieser Mächtigkeit der Kruste ist ein Heraufbringen des flüssigen Erdinnern durch die Vulkane kaum denkbar. Die deshalb von HOPKINS unter den einzelnen Vulkanen angenommenen, isolirt innerhalb des oberen Theiles der Kruste liegenden Feuerseen setzen ein längeres Flüssigbleiben gewisser Partien innerhalb der abkühlenden und abgekühlten Kruste voraus, während darunter die Erstarrung

*) NAUMANN, Lehrb. d. Geognosie 1. pag. 36.

**) Bull. géol. 13. pag. 188. 142.

***) Phys. Geogr. 2. pag. 37. Aus Schmelztemperatur von Basalt und Eisen = 1600° und 103 Fuss für die geothermische Tiefenstufe 7 geogr. Meilen = $\frac{1}{123}$ des Erdradius.

†) Lehrb d. Geogn. 1. pag. 58.

††) ib. pag. 109.

†††) C. R. pag. 67. 65—70. 1868.

fortschritt. Diese Ansicht, welche ferner unter den grossen Vulkanreihen eine lineare, z. Th. meridionale Anordnung der Feuerseen verlangt, ist aus den angeführten und anderen nicht weiter zu erwähnenden Gründen fast allgemein aufgegeben und auch MALLET verwirft sie. Die Mehrzahl der Geologen betrachtet die Dicke der Kruste als eine mässige und zugleich als eine ungleiche. Ueber den Grad der Starrheit der durch ungeheure Druckkräfte zusammengepressten Erdkruste, über die Tiefe, bis zu welcher die uns bekannten plutonischen Gesteine hinabreichen, ist heute eine begründete Meinung nicht auszusprechen.

Von der Annahme, dass Wasser den heissen und auch nach MALLET höchst wahrscheinlich feurigflüssigen Kern erreicht und dass der auf diese Weise gebildete Dampf die Laven in die Höhe bringt, giebt MALLET nur den letzten Satz zu. Nach ihm können die Laven nicht aus einem einzigen grossen Reservoir stammen, wie jene Theorie voraussetze; denn die Vulkanausbrüche, so lauten seine Gründe, sind weder gleichzeitig noch periodisch, noch sind die Laven aller Vulkane chemisch ident; im Gegentheil mineralogisch verschieden bei benachbarten Vulkanen und bei den einzelnen Vulkanen in der Zeit. Diese Sätze sind vollständig richtig, aber sie beweisen nicht gegen die angeführte Theorie: aus denselben Tiefen, aus denen die chemisch und mineralogisch verschiedenen Laven kommen, stammen auch die ebenso verschiedenen Eruptivgesteine. Wir wissen wenig von der Art, in welcher unterhalb des ältesten Gliedes der normalen Lagerungsfolge, unter den krystallinischen Schiefen, die Gesteine wechseln; wenig davon, wie weit die Tiefe, aus der sie stammen, für die chemische und mineralogische Zusammensetzung der Eruptivgesteine von Einfluss ist; wenig davon, wie weit die Verschiedenheit des spec. Gewichts Schlüsse erlaubt auf die Reihenfolge der Gesteine in der Tiefe, aber wir sehen jeder Lava chemisch und mineralogisch ein Eruptivgestein entsprechen und erkennen die Verschiedenheit beider nur in der Ausbildungsform, der Art und dem Orte des Auftretens.

Der von MALLET aufgestellte Satz, dass die Laven directe Beziehungen zu den Gesteinen nachweisen, durch welche sie ausbrechen oder auf denen sie lagern, ist nicht haltbar. MALLET giebt keine Beweise für seine l. c. pag. 217 wiederholte Ansicht. Gegen sie, um nur ein bekanntes Beispiel zu nehmen,

spricht schlagend das Verhalten der Gesteine am Vesuv und in den phlegäischen Feldern. Abgesehen von den wegen ihrer geringen Mächtigkeit kaum in Betracht kommenden Subapenninbildungen müsste nach MALLET's Ansicht ein Einfluss des mächtigen Apenninkalkes sichtbar sein; aber weder die Trachyte beider Gebiete noch die Leucitlaven zeigen eine Abweichung von dem gewöhnlichen Kalkgehalt dieser Gesteine. An eine Einschmelzung von Kalk ist also nicht zu denken, nur die sogenannten Silikatblöcke weisen eine Einwirkung auf die Wandungen mittelst der lange im Aufsteigungs canal verweilenden Lava und der damit verbundenen Erscheinungen sicher nach. Man braucht überhaupt nur eine Reihe von Analysen zu vergleichen, um sich zu überzeugen, dass die Eruptivgesteine, also auch die Laven, mögen sie die verschiedenartigsten plutonischen und sedimentären Gesteine durchbrechen, chemisch nicht weiter von einander abweichen als die entsprechenden Gesteine in den einzelnen Massen selbst. Dass z. B. Doleritbasaltlaven, welche aus Graniten aufbrechen, nicht anders zusammengesetzt sind als die aus Sedimenten hervortretenden, lehren unter anderen die Doleritbasaltlaven der Auvergne und des Aetna.

MALLET's Theorie des Vulkanismus ist mit seinen geogenetischen Ansichten und seiner Meinung über die Erhebung des Landes und der Bergketten so eng verknüpft, dass eine Darlegung derselben erforderlich wird. Er bezeichnet seinen Standpunkt als den hohen Standpunkt der Thermodynamik und nennt von diesem aus die erwähnte HUMBOLDT'sche Definition des Vulkanismus „eine weite und leere Phrase“. Er verwirft die Theorie von HOPKINS, nach welcher „die hebende Kraft, welchen Ursprungs sie auch sein mag, auf die Unterfläche des Gehobenen mittelst irgend eines Fluidums einwirkt, sei es elastischer Dampf oder feurigflüssige Masse“, und führt aus, wie darnach die hebende Kraft das Gehobene in den Zustand der Ausdehnung, folglich der Spannung, versetzt, so dass Spaltensysteme entstehen müssen, aber die Theorie stimme nicht mit den Erscheinungen in der Natur überein, nicht mit der Bildung der Bergketten. Er nimmt die Theorie von DANA an, nach welcher die Continente nicht durch Hebung entstanden, sondern „durch Deformation des abkühlenden und also sich zusammenziehenden Sphäroids, dessen dünne,

noch biegsame, feste Kruste auf grosse Strecken einsank, während andere Strecken sich relativ oder absolut hoben“. Alle Hebungen werden nach MALLETT nicht bewirkt durch verticale Wirkung aus einer unbekanntenen, tief liegenden Quelle, sondern durch verticale Kräfte, die Resultate des Seitendrucks, und diesen bedingt die Abkühlung der Erdrinde. Eine Theorie, die zuerst C. PREVOST (1840), später DANA, die Gebrüder ROGERS und Andere ausgesprochen haben.

MALLETT, von dem Satze ausgehend, dass mit Abkühlung nothwendig Contraction verbunden ist, unterscheidet 4 Perioden der Erkaltung der Erde mit verschiedenen und abnehmenden Wirkungen der Contraction (pag. 163):

1. Die Bildung und Deformation einer dünnen biegsamen Kruste und der obersten Partien der viscösen oder flüssigen, zunächst unter der Kruste liegenden Schicht, so dass, von den Polen ausgehend, wo zuerst die Kruste sich bildet und am dicksten ist, die Umriss der Continente und Oceane entstehen.

2. Die Kruste berstet und bricht auf; sie kühlt schnell, aber unregelmässig ab, weil sich partielle Wasseransammlungen bilden. Ein grosser Theil des Sphäroids (und selbst der Oberfläche) ist noch rothglühend; Verbindungen mit dem viscösen Inneren bestehen theilweise; ebenso starke örtliche Spannungen und Compressionen.

3. Die Zunahme der Starrheit der verdickten Kruste erlaubt die Fortpflanzung tangentialen, von der Contraction herrührenden Druckes (thrusts). Dieser, umgesetzt zu vertical wirkenden Kräften, faltet und runzelt die Kruste, und auf diese Weise entstehen die grösseren und kleineren Bergketten. Grosse Bergketten sind in der posttertiären oder pleistocänen Zeit nicht mehr gebildet worden. Zugleich entwickeln sich die hypsometrische Configuration des Landes, die grossen Wasserläufe, die Meeresströmungen und damit die Klimate für die verschiedenen Lebensformen. Aus den secundären rechtwinkligen Spannungen und Ausdehnungen erklären sich die Verwerfungen, die Gänge, die intrusiven Gesteine (pag. 163).

4. Endlich treten die jetzigen Verhältnisse ein: die Kruste ist beträchtlich dick und starr, die Abkühlung verhältnissmässig langsam, damit auch die Contraction. Die eigentliche

vulkanische Thätigkeit beginnt und erhält sich, wenn auch mit immer abnehmender Energie, begleitet von Erdbeben, Thermen u. s. w.

In den ersteren Stadien der Erkaltung, wo die ungeheure Contraction von Deformationen wenigstens der äusseren Schale des Sphäroids begleitet war, bildeten sich, durch die scharfen Faltungen und Brüche, Linien des geringsten Widerstandes (lines of weakness). Alle späteren Vorgänge haben deren Zahl und Ausdehnung vermehrt, so dass grosse wellige Linien des geringsten Widerstandes und der gestörten Continuität in der Kruste entstanden (so z. B. rund um den stillen Ocean); unter und nahe diesen Linien muss das Gestein gestört und zerbrochen, auf weite Strecken und bis zu grossen Tiefen in Bruchstücke verwandelt sein, welche eng an einander gepresst liegen. Auch jetzt noch geht die durch die säculäre Abkühlung bewirkte Contration fort, damit die Compression der kalten und starrereren Kruste; längs der erwähnten Linien oder Ebenen des geringsten Widerstandes wird das Material der Kruste durch den gegenseitigen Druck zerdrückt (crushed), durch den Druck, welchen die Gravitation der Kruste gegen den sich zusammenziehenden und Anziehung auf die Kruste ausübenden Kern hervorbringt. Die durch Druck und Bewegung geleistete Arbeit wird in Wärme umgesetzt: sie wird am grössten da sein, wo Druck und Bewegung am stärksten sind. Wo sich Druck und Zerquetschung concentriren, kann örtlich Rothgluth entstehen, ja das zerquetschte Gestein (und die demselben benachbarten Parteen) schmelzen. So entsteht jetzt die vulkanische Hitze, nicht durch Communication mit einem ursprünglichen und noch flüssigen Innern, nicht durch Communication mit örtlichen Feuerseen. Sie entsteht unterhalb und in der Nähe der vulkanischen Ausbruchpunkte durch die mechanische Wirkung der sich zusammendrückenden Kruste und die auf diese Weise örtlich entstandene Hitze wird auch örtlich verbraucht, zu chemischer Arbeit verwendet und rückverwandelt in mechanische Arbeit, namentlich zur Ejection der vulkanischen Gebilde. Die vulkanische Thätigkeit ist also nicht ein Produkt des ursprünglichen feurigen Flusses, sondern entsteht indirect aus dem Wärmeverlust, welchen die Abkühlung und die bekannten Gesetze der Gravitation hervorbringen. Die vulkanische Thätig-

keit (oder Vulkanicität im Allgemeinen mit Inbegriff der Erdbeben und der übrigen sogenannten plutonischen Erscheinungen) kann daher so definirt werden (pag. 167):

„Die hohe Temperatur, von welcher die jetzige vulkanische Thätigkeit herrührt, entsteht örtlich innerhalb der festen Kruste durch Umsetzung der mechanischen Arbeit der Compression oder Zerquetschung von Theilen der Kruste. Die Compression und Zerquetschung entstehen durch die schnellere Contraction des heisseren sich abkühlenden Kernes, so dass die Kruste, vermöge der Gravitation, mehr oder weniger frei sich senkt; diese verticale Arbeit wird in seitlichen Druck und Bewegung innerhalb der festen Kruste umgesetzt.“

Längs und über den Stellen des geringsten Widerstandes, welche in unbekannte Tiefen hinabreichen, liegen die Bergketten (l. c. pag. 162. §. 54) und die vulkanischen Ausbruchspunkte; letztere, weil dort die Temperatur am höchsten ist, da sich dort die Bewegung der zusammengepressten Kruste concentrirt. Die Erhöhung der Temperatur, das Product des Druckes und der Bewegung, wird je nach der Zusammendrückbarkeit, Wärmeleitungsfähigkeit und Grösse des Nachgebens in den verschiedenen Schichten verschieden, zunächst ungleich sein, und ihr Maximum bald in der verticalen, bald in der horizontalen Richtung haben. Damit ist ein hinreichender Grund gegeben für die grosse Ungleichheit der geothermischen Tiefenstufen, welche HOPKINS aus der ungleichen Wärmeleitungsfähigkeit der Gesteine nicht erklären konnte (l. c. pag. 169). Die Grösse der durch die innere Arbeit in der Kruste erzeugten Wärme hängt also nicht so sehr ab von der von unten her zugeleiteten Wärme als vielmehr von der Grösse der Contraction des Kernes, welche eine Function des Wärmeverlustes ist.

Eine weitere Wärmequelle liegt darin, dass zwei übereinander liegende Schichten von ungleicher Zusammendrückbarkeit über einander hingleiten müssen, so dass die durch die Reibung erzeugte und in Wärme umgesetzte Arbeit die Schichten selbst und ihre Umgebung erwärmt (pag. 170).

Die vulkanische Thätigkeit, deren Quelle in der nachgewiesenen örtlichen hohen Temperatur vorliegt, ist nur ein Theil der kosmischen Maschinerie der Erde und unabhängig von der Frage, wie heiss einst die Erde war, wie

viel Zeit seitdem verfloss, wie heiss das Innere jetzt sein mag, ob der Kern flüssig oder fest, ob die Kruste dünner oder dicker ist. Die Gegenwart von Wasser, sei es süß oder salzig, im Heerde der Vulkane vervollständigt die Arbeit dieser ungeheuren Maschinen; örtliche hohe Temperatur und Coexistenz von Wasser erklären alle jetzigen vulkanischen Erscheinungen. Sie können also erst dann eingetreten sein, als hinreichende Wassermassen niedergeschlagen waren, welche durch Capillarität und Infiltration in die Tiefen drangen, d. h. also dann erst, als die Temperatur der Erdoberfläche so weit gesunken war, dass flüssiges Wasser sich darauf erhalten konnte. Wann die jetzige vulkanische Thätigkeit begann, lässt sich zwar nicht genau feststellen, aber sie geht wahrscheinlich nicht viel über das Ende der Secundärzeit hinaus, wenn überhaupt so weit. Früher zeigt sich der Vulkanismus hauptsächlich in Ergüssen mächtiger flüssiger Gesteinsmassen oder in Bildung erhitzten Staubes, sogenannter Asche, aber ein Auswerfen durch Dampf bedingt fand nicht statt, obgleich vielleicht gelegentlich durch Gase. Immer waren die Vorgänge von den jetzigen verschieden, ihr Charakter war nicht explosiv wie jetzt. Der Uebergang zwischen dem jetzigen explosiven und dem früheren hydrostatischen Vulkanismus war ein allmählicher. Zu dem letzteren rechnet MALLET das Auftreten der Trappgänge und Porphyrmassen des Silurs und der dahin gehörigen Eruptivgesteine. Zur Vervollständigung seiner Theorie führt MALLET folgende Sätze aus:

1. Die Gravitation der nicht oder nur theilweise unterstützten Kruste vermag alles Material der Kruste zu Pulver zu zerdrücken, so lange die Dicke der Kruste nicht gleich ist der ganzen Länge des Erdradius.

2. Wie weit ziehen sich die Gesteine der Kruste zusammen zwischen ihrer Schmelztemperatur oder einer noch höheren und der Temperatur der Atmosphäre.

3. Wie gross ist für Gewicht- und Volum-Einheit das Mittel der Arbeit, welche nöthig ist zur Zerdrückung der Gesteine und wie hoch ist die daraus durch Umsetzung entstehende Temperatur.

Der erste Satz beruht auf mathematischer Untersuchung, der zweite und dritte Satz werden durch Versuche bewiesen.

Die festesten Gesteine (Granit oder Porphy) werden zer-

drückt durch einen Druck von 14 Tons auf den Quadratzoll; wenn die daraus bestehende Kruste zu $\frac{427}{428}$ ihres ganzen Gewichtes durch Attraction des Kernes unterstützt wird oder wenn die Kruste sich nur um $\frac{1}{428}$ ihres Gewichtes senken kann, so wird alles Material der Kruste zerdrückt. In welchen Tiefen das Maximum des Seitendruckes und damit die Schicht des Maximums der Vulkanicität liegt, lässt sich für jetzt bei einer gegebenen Dicke der Kruste nicht bestimmen. Allein MALLETT glaubt den ersten Satz, wenn die Kruste von dem abkühlenden und daher schwindenden Kern theilweise oder gar nicht gestützt wird, bewiesen zu haben. Um den dritten Satz zu beantworten, wurden Würfel von 1,5 Zoll Seite aus 16 verschiedenen Gesteinen zerdrückt. Das Maximum gab beim Zerdrücken grauer Granit von Guernsey, nämlich 217° , $24\text{ F.} = 102^{\circ}$, 9 C. , per Kubikfuss. Bezeichnet W das zum Zerdrücken eines Gesteins nöthige Gewicht in Pfunden, welches Gewicht von der Höhe h in Fussen herabfällt, J JOULE's Aequivalent, so ist $H = \frac{Wh}{J}$ die Zahl der Wärmeeinheiten, welche durch die Arbeit des Zerdrückens geliefert wird. Für ein mittleres Gestein berechnet ist $H = 6472$ britischen Einheiten für einen Kubikfuss zerdrückten Gesteins. Daraus berechnet MALLETT: Die Temperatur, welche nöthig ist, um eine Kubikmile Eis von 0° zu schmelzen, ist gleich der Temperatur, welche durch Zerdrücken von 1,277 Kubikmile des von ihm berechneten mittleren Gesteins erhalten wird.

Für die Beantwortung der zweiten Frage liegen die älteren Versuche von G. BISCHOF*) vor. Schon D. FORBES**) hat die Unsicherheit der von BISCHOF mitgetheilten Zahlen nachgewiesen und angenommen, dass die sauren oder basischen Silicate der plutonischen Gesteine zwischen Schmelzfluss und Erstarren sich kaum zusammenziehen. FORBES schloss dies aus Versuchen mit geschmolzenem Rowley ragstone (Grünstein, Staffordshire), mit geschmolzenen Hochofenschlacken und mit

*) Neues Jahrb. f. Min. 1841. pag. 565 u. 1848. pag. 1—54. Darnach liefern 1000 Volume geschmolzenen Basaltes 963 Volume glasigen und 896 Volume krystallinischen Basaltes. Trachyt und Granit sollen sich noch stärker zusammenziehen.

**) Chem. News 1868.

Glasmassen. Allein auch seine Versuche liefern in Folge seines Verfahrens nothwendig unsichere Resultate.

MALLET behauptet, dass die Unterscheidung zwischen glasigem und krystallinischem Zustand, wie sie BISCHOF für seine Versuche anführt, sehr willkürlich sei, denn „alle gemengten Silikate, welche krystallisiren, trennen sich bei der Abkühlung in Krystallisirtes, das in einem glasigen Magma schwimmt, und dieses krystallisirt niemals, höchstens wird es durch lange Erhitzung entglast. Von den relativen Mengen dieser beiden Gemengtheile, von dem Gang der Abkühlung hängt es ab, ob die eingemengten Krystalle sich vereinigen oder ob die ganze Masse ein krystallinisches Gefüge annimmt“ (l. c. pag. 195).

Um die Contraction geschmolzener Gesteinsmassen bei der Festwerdung zu bestimmen, stellte MALLET folgende Versuche an.

Auf den Barrow Works (bei Furness Abbey, Cumberland) wird aus Rotheisenstein mit sehr reinem Kalkstein (97 pCt. Kalkkarbonat) als einzigem Zuschlag und vermitteltst Koak Graueisen erzeugt. Die dabei fallenden hellrehfarbenen Schlacken wurden zu den Versuchen verwendet. Im Mittel aus drei Analysen, welche ziemlich weit von einander abweichen, bestehen*) diese Schlacken aus

Kieselsäure,	Thonerde,	Eisen- u. Manganoxydul,	Magnesia,
41,24 pCt.	10,23 pCt.	2,17 pCt.	1,19 pCt.
	Kalk,	Alkali,	Schwefelcalcium,
	40,02 pCt.	1,78 pCt.	2,51 pCt.
			= 99,14 pCt.

*) Wenn MALLET diese Zusammensetzung als nahe mit der der Basalte übereinstimmend betrachtet, so liegt sein Irrthum auf der Hand. Bei Basalten giebt im Maximum die Addition von Kalk und Magnesia 27 pCt., mit Zurechnung von Eisenoxydul 32 pCt. Die eben angeführte Schlacke nähert sich in ihrer Zusammensetzung dem Chytostilbit HAUSMANN'S: GEUTHER fand in diesen blaugrauen Hochofenschlacken von Geislauntern

SiO ²	Al ² O ³	FeO	MnO	MgO	CaO =
43,00	11,61	3,97	1,00	2,09	38,83

100, mit O 12,90 : 5,41 : 22,93

MALLET'S Analysen geben ein Verhältniss von 12,88 : 4,77 : 21,99.

Also etwa = 8 R + Äl + 7 Si. In grosse hohle Eisenkegel (Bessemer steel ingot-moulds) von 4,6 Kubikfuss Inhalt liess MALLET die Schlacken mit etwa 2000° C. (3680° F., der Temperatur des flüssigen Eisens) einlaufen. Er nimmt an, dass das Festwerden bei 3000° F. (1650° C.) begann und fand die Contraction (l. c. pag. 201) zwischen

$$3680^{\circ} \text{ F. (2000}^{\circ} \text{ C.) und } 53^{\circ} \text{ F. (11}^{\circ},67 \text{ C.)} = \\ 1000:932,76 \text{ Volume,}$$

$$3680^{\circ} \text{ F. (2000}^{\circ} \text{ C.) und } 3000^{\circ} \text{ F. (1650}^{\circ} \text{ C.)} = \\ 1000:983 \text{ Volume.}$$

Die erkalteten Schlackenkegel wiesen keinen gesonderten Kern und keine grossen Höhlungen auf. Aussen waren sie glässig, bläulich; der Rest war ein ziemlich gleichförmiges Gemenge von mehr oder weniger deutlichen, aschgrauen (wollastonitähnlichen) Krystallen und hellfarbenem Glas. Die Krystalle überwogen besonders nach der Mitte hin, wo sie sehr gut ausgebildet waren. „Es war also ein echt krystallinisches Gestein, nicht bloss Glasmasse gebildet“ (l. c. pag. 200). Die Krystalle wurden nicht analysirt, auch das specifische Gewicht des Glases und der Krystalle ist nicht angegeben. Tafelglas (der Thames plate-glass company in Blackwall) zieht sich nach vielen Ermittlungen in der Art zusammen, dass 1000 Volume in zähweichem Zustande, also unterhalb des Schmelzpunktes, gemessen, 984,1 Volume bei 50° F. (10° C.) liefern. MALLET schliesst daraus, dass saure Silicate sich noch weniger zusammenziehen als basische. Er nennt die chemische Zusammensetzung des Tafelglases (nach der Mehrzahl der z. Th. von ihm angeführten Analysen mit etwa 72 pCt. Kieselsäure, 3,5 pCt. Thonerde im Maximum, 11 pCt. Kalk im Maximum, 15—17 pCt. Alkali) „nicht sehr verschieden von der Zusammensetzung der sauren Gesteine“ wie Gneiss, Granit, Syenit, Liparit u. s. w., deren Thonerdegehalt er selbst im Maximum auf 12 pCt., deren Maximalgehalt an Alkali er auf 11 pCt. angiebt. Dabei ist auf die Differenz im Kalkgehalt gar nicht Rücksicht genommen und der wesentliche Unterschied zwischen Erkaltung zu blossem Glas und der zu krystallinischem Gestein ganz ausser Acht gelassen.

Folgt aus der constanten Abkühlung (die am grössten in dem heisseren Kern sein muss) nothwendig Contraction und

damit Zerdrückung der Kruste, welche abwärts dem schwindenden Kern folgt, so ist zu beweisen, dass die durch die Zerdrückung entstehende Wärme hinreicht, um die vulkanischen Erscheinungen hervorzubringen. Sie treten hervor namentlich

1. als Wärme umgesetzt in Hebung und Ejection,
2. als Wärme umgesetzt zum Schmelzen oder Erhitzen der festen Auswurfsmassen.
3. als Wärme verwendet zur Erzeugung von Dampf.

Nimmt man das Volum eines Vulkankegels (1 Mile hoch und 5 Miles Durchmesser an der Basis) zu 6,54 Kubikmiles, das spec. Gewicht seiner Gesteine = 2 oder zu 0,05 Ton für den Kubikfuss, so enthält ein solcher Kegel 48133730304 Tons. Um diese aus 10 Miles Tiefe unterhalb der Kegelbasis zu heben, würde die aus der Zerdrückung von $\frac{8}{9}$ Kubikmile Gestein entstehende Wärme hinreichen. Bei den Vulkanen ist nach MALLETT nur ein kleiner Theil der ganzen Massen wirklich geschmolzen, der Rest ist nur erhitzt. Auf 20 Volume erhitzter Massen (Asche, Lapilli, Schlacken u. s. w.) kommt höchstens 1 Volum geschmolzener Lava (l. c. p. 207). Sind nun etwa 400 thätige Vulkane vorhanden, so reichen zu ihrer Bildung, wenn man jedem Vulkan den obigen, sehr hoch gegriffenen Kubikinhalte beilegt, 7200 Kubikmiles zerdrückten Gesteins aus, wobei Hebung, Erhitzung, Schmelzung und ein grosser Wärmeverlust berechnet ist (l. c. pag. 207).

Da die durch die Zerdrückung von 987 Kubikmiles Gestein gelieferte Wärme dem (nach THOMSON berechneten) jährlichen Wärmeverlust der Erde entspricht, so könnten in weniger als 8 Jahren durch die von 7200 Kubikmiles zerdrückten Gesteins gelieferte Wärme alle Vulkane entstehen. Man sieht daraus, wie gering die jährlich auf den Vulkanismus verwendete Wärmemenge ist und dass bei weitem die grösste Menge der durch Strahlung u. s. w. verloren gehenden Wärme aus dem abkühlenden Kern stammt. Nicht alles zerdrückte Gestein, wenn auch ein grosser Theil desselben, wird von den Vulkanen ausgeworfen und das ist ihre Function oder ihr Zweck (function or final cause) in dem Kosmos. Die sich zusammenziehende feste Kruste passt sich dadurch, zwar in Paroxysmen, aber doch im Ganzen unschädlich (harmlessly) den Dimensionen des schwindenden Kerns an; wäre dafür in der grossen Maschine nicht gesorgt, wäre die feste Kruste so

starr, dass sie sich nicht zerdrücken liesse; könnte das Zerdrückte nicht entfernt und auf die Oberfläche gebracht werden, so müssten heftige Convulsionen erfolgen, welche wahrscheinlich die ganze Oeconomie der Oberfläche zerstören und damit das organische Leben gefährden würden (l. c. pag. 213).

MALLET glaubt durch seine Ausführungen, wenn auch nicht bewiesen, so doch höchst wahrscheinlich gemacht zu haben, dass

1. die innerhalb der festen Kruste vor sich gehende Zerdrückung hinreichend ist, um die Vulkanicität zu liefern; dass
2. der dazu nothwendige Betrag der Zerdrückung in die Grenzen fällt, welche man der Contraction durch säculäre Erkaltung zuschreiben kann (l. c. pag. 214). Er nennt es charakteristisch für seine Theorie, dass nach ihr die vulkanische Action nur eine Phase derselben Kraft ist, welche immer in Thätigkeit war, seit unser Planet eine Nebelmasse bildete.

Das von den Geologen meist angenommene Eindringen von Wasser bis auf den feurigflüssigen Kern setzt eine dünne, höchstens 30 bis 50 Miles mächtige Kruste voraus, und eine so geringe Stärke derselben ist mit den vorhandenen thermischen Verhältnissen ganz unvereinbar (l. c. pag. 214).

Beträgt die Krustendicke 300—800 Miles, so findet das Oberflächenwasser durch sie hindurch nicht mehr den Weg zu dem flüssigen Kern. Die Annahme einer flüssigen Schicht zwischen der festen Kruste und dem festen Kern, wie SCHALER (Proc. Bost. Nat. hist. Soc. 1866) vorschlug, ist nicht zulässig.

Alle Thatsachen lehren, dass der Ort, wo die vulkanische Action durch Zusammentreffen von hoher Temperatur und Wasser entsteht, nicht in grosser Tiefe unter den vulkanischen Ausbruchspunkten liegt (pag. 215). Dies folgt aus der Richtung der Stösse, welche nahe den Axen der Vulkankegel beobachtet sind, die Centren beider fallen zusammen. Wäre die Tiefe gross, so müsste die Richtung der rings um die Basis der Vulkankegel und selbst weiter entfernt von ihnen auf die Oberfläche kommenden Stosswellen (emergent wave-paths) als vertikal erscheinen, und dasselbe müsste in der Zerstörung der Häuser u. s. w. hervortreten. Aber das ist nicht der Fall, selbst nicht in der nächsten Nähe der grossen süd-

amerikanischen und orientalischen Vulkane: die Stösse nächst der Basis sind eher horizontal als vertical, und dasselbe gilt für die europäischen Vulkane. Bei dem Erdbeben des Aetna zeigen, wie MALLET 1864 nachwies, die Spalten in Kirchthürmen und anderen Bauwerken überall hin auf ein fast mit der Aetna-Axe zusammenfallendes Centrum, das nicht tief unter dem Meeresspiegel liegt. Wäre es 800 Miles tief oder halb so tief, so müssten die Mauerrisse einen ganz anderen Charakter haben und die verticalen Richtungen der Stösse hervortreten. Auf der anderen Seite sieht man, dass nicht alle vulkanischen Actionen aus derselben Tiefe kommen (l. c. pag. 216). Die Theorie der Zerdrückung an den Stellen des geringsten Widerstandes liefert die Erklärung dafür und auch für die Spalten, welche das Eindringen des Wassers erleichtern; im Allgemeinen wird die Zerdrückung nicht tief unter der Oberfläche stattfinden (l. c. pag. 216). Liegt die zerdrückte und daher erhitzte Gesteinsmasse so tief, dass Wasser nicht hingelangen kann, so wird keine weitere Action eintreten; diese kann erst beginnen bei Zutritt von Wasser oder wenn Gase durch chemische, von der hohen Temperatur unterstützte Wirkung entwickelt werden. Sind die Punkte, wo Gestein zerdrückt und erhitzt wird, local, so erklärt sich auch die verschiedene Temperatur der Lava sowohl bei den einzelnen Vulkanen als bei demselben Vulkan; ebenso der Mangel an Periodicität der Ausbrüche, und das Erlöschen der Vulkane (l. c. pag. 217).

Ferner erklärt die Theorie die reihenförmige Anordnung der Vulkane und die Thatsache, dass sie im Allgemeinen den grossen Bergketten folgen: beide liegen auf Linien des geringsten Widerstandes, auf diesen finden sich zunächst die Spaltungen der Kruste, auf diesen geht hauptsächlich das Zerdrücken vor sich (l. c. pag. 218).

Es ist also nur theilweis richtig, dass die Vulkane Sicherheitsklappen gegen die Erdbeben sind: in der That sind sie Sicherheitsklappen, um von Zeit zu Zeit die Wirkungen der durch die Abkühlung bedingten Contraction zu mindern. Die Hemmung einer Uhr, welche nicht gleichmässig, aber doch langsam das Gewicht sinken macht, dessen schnelles Herabfallen die ganze Maschine zerstören würde — das ist ein Bild der vulkanischen Thätigkeit. So weit MALLET.

Als charakteristisch erscheint für MALLET's Theorie, wie

schon POULETT SCROPE*) hervorhob, neben ihrer eigenthümlichen teleologischen Färbung das Suchen einer besonderen Quelle hoher Temperatur für die jetzigen Vulkane. Während er für die durch Strahlung verloren gehende Wärme und für Wärme der Thermen (l. c. pag. 222), von denen ausserdem bekanntlich ein grosser Theil in vulkanischen Gebieten liegt, die von dem heissen Kern mitgetheilte Wärme in Anspruch nimmt, soll die hohe Temperatur der Vulkane durch Umsatz aus der Arbeit des Zerdrückens entstehen. Diese Annahme, welche die Bejahung der ganzen Hypothesenreihe MALLETT's voraussetzt, erscheint um so auffälliger, wenn er selbst nach kühnen Annahmen berechnet, dass 100 Vulkane von der Thätigkeit des Vesuvs — er nennt das eine hohe Schätzung der vulkanischen Thätigkeit der Erde — ihren jährlichen Wärmeverbrauch mit 0,0606 Kubikmile zerdrückten Gesteins decken können (l. c. pag. 211). Da er nun den jährlichen Wärmeverlust der Erde gleich setzt 987 Kubikmiles zerdrückten Gesteins (l. c. pag. 206), so hat $\frac{1}{1600}$ (die für die Vulkane verwendete Wärme) einen anderen Ursprung als die übrigen $\frac{1599}{1600}$. Diese Berechnung, bei welcher überdies irrthümlicher Weise die Aschen, Lapilli und Schlacken nur als erhitzt, und nicht als geschmolzen angenommen werden (l. c. pag. 207), lässt die neue Theorie nicht in vortheilhaftem Licht erscheinen.

Leitet man die für die jetzigen Vulkane nöthige Wärme aus Zerdrückung der Gesteine der Kruste her, so muss die Zerdrückung unter den günstigsten Umständen erfolgen. Sie muss plötzlich (instantan) sein, die erzeugte Wärme muss nicht fortgeführt werden können, der Widerstand des zu zerdrückenden Gesteins nicht durch die Zunahme der unterirdischen Temperatur verringert sein. Bei den mässigsten Tiefen, in denen der Ursprung der vulkanischen Erscheinungen angenommen werden kann, wirkt dieser Factor schon bedeutend ein. MALLETT's Versuche des Zerdrückens wurden mit trockenen Gesteinen angestellt; wie sich mit Wasser durchzogene Gesteine verhalten, darüber fehlen die Angaben. Die Zerdrückung muss, da Wasser tief in die Kruste eindringt, nothwendig auch mit Wasser durchzogene Gesteine treffen. Die zerdrückten

*) Geolog. Mag. (2) Vol. 1. 1874.

Gesteinswürfel lagen frei; wie sich Massen verhalten, welche seitlich von ähnlichen Massen umgeben werden, bleibt fraglich. Die Reibung, welche MALLET als secundäre Ursache der Temperaturerhöhung anführt, wird kaum eine wesentliche Wirkung ausüben. Man sieht bei den Verwerfungen, bei welchen Zerdrückung und Reibung (Spiegel, Harnische) in hohem Maasse stattfand, keine Wirkungen erhöhter Temperatur. Fehlt es auch an sicheren Nachweisen über die Geschwindigkeit, mit welcher, namentlich im älteren Gebirge, die Verwerfungen vor sich gingen, so ist doch kein Grund vorhanden, sie als instantan anzunehmen. Die Wahrscheinlichkeit spricht für langsame Bewegung. Aus diesen Erscheinungen lässt sich kein Grund gegen MALLET's Theorie ableiten, so lange sich nicht beweisen lässt, dass sie instantane waren.

Die nicht ohne Reibung und Zerdrückung denkbare Bewegung, wie sie sich in den geologisch späten Hebungen und Senkungen des Landes offenbart, also in den Epochen des explosiven Vulkanismus MALLET's, hat keineswegs vulkanische Phänomene hervorgebracht. Das geht aus den Glacialerscheinungen Grossbritanniens hervor: während eines Theils der Glacialzeit lag Schottland 2000 Fuss unter seinem jetzigen Niveau, andere Theile Grossbritanniens 1300 Fuss (LYELL *Antiquity of man*). Auch hier gilt der Einwand, die Bewegung sei eine säculäre und nicht eine instantane gewesen, ähnlich wie für die jetzigen Hebungen von Schweden u. s. w. MALLET erwähnt die letzteren beiläufig (l. c. pag. 163), aber erläutert sie weiter nicht, ebensowenig die erwähnten geologisch späten und an so vielen Punkten beobachteten Oscillationen des Landes, er spricht nur von Senkung der festen Kruste gegen den schwindenden Kern. Ist die Kruste seit dem jüngeren Tertiär zu starr und zu dick, um sich, wie früher, zu falten, so ist sie doch im Grossen plastisch und nachgiebig genug, um Bewegung einzelner Stücke auf- und abwärts zu gestatten, wobei die eine Bewegung nothwendig die andere zur Folge haben muss. Wenn man nicht eine Lösung des Zusammenhanges zwischen Kruste und dem darunter folgenden, viscösen oder flüssigen Theile des Innern annehmen will, so folgt aus diesen Bewegungen der Kruste auch eine Bewegung der darunter liegenden Partien, während MALLET nur von Bewegungen in

der Kruste spricht. Die Ansicht BELLI's*), dass die Kruste auf dem Kerne sanft aufruhe, dass also durch Sinken der Krustenbruchstücke das flüssige Innere in die Höhe gedrückt werde und als Lava hervortrete, legt diesen Bewegungen einen zu grossen Werth bei: wäre sie dem Geschehen entsprechend, so müssten zunächst die Vulkane von gleicher Seehöhe zur selben Zeit Lavaausfluss und zwar fortdauernden oder wenigstens dasselbe Niveau des Lavaspiegels zeigen, während Intermittenz und Nichtperiodicität für die Thätigkeit der Vulkane bezeichnend sind.

Ueber die Hebung der Bergketten mag hier nur bemerkt werden, dass geologisch sicher nachweisbar die meisten Bergketten nicht auf ein Mal, nicht auf einen Ruck gehoben sind, dass ferner zwischen den Einzelhebungen oft sehr lange Zeiträume liegen. Schwerlich geschahen die grossen Hebungen instantan; die jetzigen Hebungen und Senkungen, welche nur selten instantan und dann nur auf ein geringes Maass beschränkt sind, verhalten sich wie ein sehr schwacher Nachklang jener früheren viel bedeutenderen und über weite Strecken ausgedehnten. Waren diese älteren Hebungen säculär, so konnten sie niemals eine zum Schmelzen des Gesteins hinreichende Temperatur hervorbringen, konnten also nicht Ursache des Auftretens von Eruptivgesteinen sein, sofern diese aus dem gehobenen, erhitzten und geschmolzenen Material entstanden. Hebungen ohne Auftreten von Eruptivgesteinen sind häufig genug vorhanden, und wenn Eruptivgesteine in dem Gehobenen auftreten, so kamen sie aus der Tiefe, da ihnen durch Spaltungen und Risse Raum zum Hervortreten gegeben war. Faltungen, wenn man die Erscheinungen in Nordwales und im schweizer Jura als solche gelten lassen will, ohne Auftreten von Eruptivgesteinen liegen in den genannten Beispielen vor. Von Veränderung durch hohe Temperatur ist weder dort noch in den häufigen und mächtigen Faltungen der krystallinischen Schiefer eine Spur vorhanden. Ueber die in den frühesten Zeiten der Erde eingetretene Begrenzung von Land und Meer ist später zu reden.

MALLET nimmt (l. c. pag. 170) die Mächtigkeit der Sedi-

*) Giornale dell' Ist. Lombardo 1850 und 1856. cfr. MALLET l. c. pag. 178.

mente zu 25 Miles an. Ist auch diese ganze Reihe nirgend vollständig vorhanden, so erreicht doch die Mächtigkeit einzelner sedimentärer Glieder oft bedeutende Grössen. Das Old red in Herfordshire ist 8000 — 10000, das schottische Silur (mit Ausschluss des Obersilurs) nach MURCHISON 50000 Fuss mächtig. Je geringer die Tiefe ist, in welcher MALLET den Ursprung der vulkanischen Thätigkeit sucht, desto stärker wird der schon erwähnte Einwurf, dass die Laven (und die Eruptivgesteine überhaupt) nirgend eine bedeutende Einschmelzung von Sedimenten oder gar chemische Identität mit ihnen zeigen. Schon aus der Grösse des Alkaligehalts vieler Laven geht hervor, dass einfach geschmolzene Sedimente niemals derartige Laven liefern können: denn Sedimente mit Alkaligehalten, wie sie in Leucitophyrlaven, Sanidintrachytlaven u. s. w. vorkommen, sind nirgend vorhanden. Aus zerdrückten Sedimenten können also diese und ähnliche Laven nicht hervorgehen. Finden Zerdrückungen in den Sedimenten statt, so muss die dabei erzeugte Wärme in die Tiefe gelangen, um dort zum Schmelzen verwendet zu werden, wenn sie überhaupt für die Vulkane nutzbar gemacht werden soll. Ausserdem müsste doch irgendwo in den Sedimenten Erhitzung oder Schmelzung sichtbar sein, aber dafür ist weder durch MALLET noch durch sonstige Beobachtungen ein Beispiel geliefert.

Wie von anderen Seiten auf ähnliche Vorgänge, wie die erwähnten, der Metamorphismus zurückgeführt wird, ist später darzulegen. MALLET deutet diese Beziehungen kaum an. Er lässt (l. c. pag. 171) die älteren Eruptivgesteine durch „hydrostatische plutonische Thätigkeit“ (hydrostatic igneous action) auf die Oberfläche gelangen und die jetzige explosive vulkanische Thätigkeit schon in der Secundärzeit beginnen. Permanente Vulkane, erkennbare Kratere, Lavaströme mit Aschen und Schlacken sind aber mit Sicherheit erst seit dem Tertiär nachgewiesen, nirgend früher. Nimmt man die beiden Bezeichnungen MALLET's an, hydrostatische und explosive vulkanische Thätigkeit, so ist ein Uebergreifen der ersteren in die Zeit der letzteren, wie auch MALLET bemerkt, nachweisbar, aber nicht umgekehrt. In der Zeit der jetzigen explosiven vulkanischen Thätigkeit wird das Auftreten von Eruptivgesteinen nach Art der älteren Eruptivgesteine (d. h. Erguss aus Spalten, Gangbildung, Ausfüllung von Spalten mit jüngeren,

chemisch und mineralogisch den Laven entsprechenden Gesteinen) immer seltener*), die Mitwirkung von Gasen und Dämpfen bei dem Auftreten der Eruptivgesteine immer stärker. Mikroskopische Gas- und Flüssigkeitseinschlüsse finden sich schon in den durchgängig compacten krystallinischen Schiefen und in den älteren Eruptivgesteinen, welche letztere z. Th. cavernöse Bildung und Mandelsteine aufweisen, daneben kommen vielleicht Andeutungen von Schlacken vor. Endlich treten in den jüngeren Eruptivgesteinen seit dem Tertiär Gas- und Flüssigkeitseinschlüsse häufiger, Schlacken und Aschen in reicher Menge auf. Das ist die Reihe, wie sie sich entsprechend der zunehmenden Dicke der Kruste, welche ein einfaches Aufpressen von Eruptivgesteinen ohne Mithülfe von Wasserdampf nicht mehr gestattet, geologisch darstellt. Eine Trennung zwischen den Eruptivgesteinen der krystallinischen Schiefer, der paläozoischen und der Secundär-Zeit nach Art ihres Auftretens ist geologisch nicht zu rechtfertigen.

Mit diesem geologischen Nachweis, dass erst seit der Tertiärzeit Vulkane auftreten, wird der MALLET'schen Theorie eine wesentliche Stütze genommen. Ist Zerdrückung der Gesteine und die dadurch entstehende Wärme die Ursache der vulkanischen Thätigkeit, so müssten Vulkane vorhanden sein, seitdem Wasser sich im flüssigen Zustande auf der Erde erhalten konnte. Die Contraction war nothwendig in der paläozoischen und Secundär-Zeit viel grösser als später, folglich nach MALLET's Theorie auch die Zerdrückung, folglich auch die Erhöhung der Temperatur in der Kruste; ferner mussten die Zerreibungen der Oberfläche, und die Bildungen von Spalten und Rissen damals viel stärker sein als später: alle Vorbedingungen zur Entstehung der Vulkane waren gegeben — aber sie entstanden nicht. Es bestand nur der hydrostatische Vulkanismus MALLET's: Aufpressung von feurigflüssigen Theilen aus den Tiefen, eine Folge der Contraction. Der Einwand,

*) Warum MALLET die ältere Form der plutonischen Action unter dem Meere noch jetzt fortgehen lässt (l. c. pag. 172) und nicht auch auf dem Festlande, ist nicht einzusehen. Die Sommagänge, die 1834 von ABICH am Vesuv beobachteten Gänge, die Doleritgänge in Island in vulkanischen Gesteinen u. s. w. zeigen, dass „die hydrostatische Action“ auch auf dem Festlande nach dem Beginn „der explosiven Action“ fortgedauert hat.

dass in dieser ersten Zeit alle durch die Contraction gelieferte Arbeit zur Hebung der Bergketten verwendet sei, ist nicht stichhaltig, denn in der Tertiärzeit, wo die Contraction nur noch sehr gering sein konnte, wurden mächtige Bergketten (Alpen, Pyrenäen, Anden) zu grossen Höhen gehoben und die Vulkane gebildet.

Vergleicht man die Massen der älteren Eruptivgesteine mit der Masse der durch die Vulkane auf die Oberfläche gebrachten Gesteine, so ist die letztere verschwindend klein. Die Wirkung der Contraction und damit die Masse des Aufgepressten wird immer geringer; jetzt gelangt dieses auf die Oberfläche nur noch unter Mithülfe des Wasserdampfes, die Kruste ist zu dick und zu starr, um grössere Wirkungen zu gestatten. Selbst wenn explosive vulkanische Thätigkeit schon vor der Tertiärzeit sich nachweisen liesse, — ein Nachweis, der immer nur für einen Bruchtheil der damaligen Eruptiverscheinungen zu führen sein wird, — so liesse sich daraus für MALLET's Theorie kein Gewinn ziehen: nach dieser müsste die explosive vulkanische Thätigkeit in den älteren Formationen das Uebergewicht über die hydrostatische haben.

Liegen nach MALLET's Theorie die Vulkane zunächst den Küsten und in der Nähe der grossen Gebirgsketten, weil dort die Linien und Ebenen des geringsten Widerstandes sich finden, so muss die durch Zerdrückung entstandene Wärme, deren Maximum wegen der Grösse des Widerstandes in den Centren der gehobenen Flächen zu suchen ist, sämmtlich an die Küsten geleitet werden, wenn sie für vulkanische Thätigkeit verwendet werden soll. Diese Annahme ist gewiss willkürlich genug.

Die grösste gehobene Fläche der Erde, das hohe Innerasien, hat keine thätigen Vulkane; zwischen den Ketten des Kokatau und des Terektagh liegt eine mit erloschenen Vulkanen besetzte Hochfläche von etwa 12000 Fuss Höhe (Zeitschrift d. d. geol. Ges. XXVII. pag. 241). Die erst in der Tertiärzeit gehobenen Alpen haben keine Vulkane; erst in ihrer Fortsetzung östlich der Donau im ungarischen Erzgebirge sind erloschene Vulkane vorhanden. Die eben so späte Hebung der Pyrenäen hätte nichts weiter an Vulkanen hervorgebracht als die kleinen Vulkankegel bei Olot (Castel Folli).

Oder will man die Vulkane der Auvergne von der Hebung der Alpen und Pyrenäen ableiten? MALLET berücksichtigt bei dem obigen Satze die erloschenen Vulkane nicht: Eifel, Rhön, der geringeren nicht zu gedenken. Sieht man ab von den gleichfalls erst in der Tertiärzeit gehobenen Anden und ihren Fortsetzungen, so werden die hohen Gebirge nicht von Vulkanen begleitet; vielmehr liegt die Hauptmenge der Vulkane — fast $\frac{2}{3}$ — auf niedrigen Inseln und Halbinseln. Dabei kann nur die Meereshöhe der Basis, nicht die der Vulkankegel in Betracht kommen, denn diese bauen sich selbst ihre Kegel zu bedeutender Höhe auf. Scheint es nicht als habe die einseitige Inbetrachtung Amerikas und seiner Anhänge den Satz veranlasst, dass die Vulkane den grossen Gebirgsketten folgen und dass die grossen Gebirge an den Küsten aufsteigen?

Die Hebung der grossen Gebirgsketten in der Tertiärzeit und das Auftreten der Vulkane in derselben Epoche bezeichnen in der Geschichte der Erde einen merkwürdigen Abschnitt, dessen Erklärung auch durch die Theorie MALLET's nicht geliefert wird.

Auf anscheinend mehr gesichertem Boden stehen die Versuche MALLET's über die Zusammenziehung der Silicatmassen bei dem Uebergange aus feurigem Fluss zu Festem.

Längst ist nachgewiesen, dass amorphe Silicate und Silicatmassen ein grösseres Volumen einnehmen als dieselben Silicate und Silicatmassen im krystallinischen Zustand. Wie sich ihr Volumen im feurigflüssigen Zustand zu dem Volumen des glasig und krystallinisch Erstarrten verhält, ist schwieriger festzustellen. Nach MALLET zieht sich das auf der Tafel gewalzte, im zähweichen Zustande, also unter der Schmelztemperatur gemessene Tafelglas bis zur Temperatur von etwa 10° C. von 1000 Volumen auf 984,1 Volume zusammen. Er setzt voraus, dass die Contraction noch grösser sein würde, könnte man die Messung bei der Schmelztemperatur vornehmen. Ist Glas specifisch leichter als Krystallinisches und MALLET's Ansicht begründet, so müssen sich auch die flüssigen Silicate zusammenziehen, wenn sie krystallinisch werden. Um wie viel — wird auch durch MALLET's Versuche mit Schlacken nicht bewiesen. Nach seiner Beschreibung wird Niemand die

durch Erstarrung aus Hochofenschlacke erhaltene Masse ein „echtes krystallinisches Gestein“ nennen, sondern nur eine reichlich mit Krystallinischem gemengte Glasmasse (S. 561). Die Beobachtung widerlegt auch den S. 560 angeführten Satz, „dass nach Bildung von Krystallen das übrig bleibende glasige Magma niemals krystallisire oder höchstens nach langer Erhitzung entglast werde“. Die mikroskopische Untersuchung z. B. der Granite lehrt, dass nach Bildung kleiner Krystalle von Quarz, Feldspath und Glimmer der Rest fast gleichzeitig krystallisirte, wie Umschlüsse und Eindrücke der Krystalle aufeinander zeigen. Von Glas ist zwischen den Krystallen keine Spur vorhanden; nur in einzelnen schmalen Granitgängen, deren Erstarrung rascher vor sich ging, lässt sich Glas nachweisen; sehr selten finden sich in den Quarzen der Granite Glaseinschlüsse, die dadurch ihre Bildung vor der Quarze beweisen. Jenes von MALLET erwähnte Verhalten, Uebrigbleiben von mehr oder weniger Glasmasse, nachdem der übrige Theil der Masse krystallinisch geworden ist, kommt bei vielen Eruptivgesteinen vor und wird gewöhnlich aus ihnen bei Schmelzversuchen erhalten. Das Réaumur'sche Porzellan, d. h. krystallinisch gewordenes Glas der Hütten, ist bald durchaus krystallinisch, bald schliesst es amorphe Massen, bald sphärolithische Bildungen ein: es verhält sich durchaus wie die aus feurigem Fluss erstarrten Eruptivgesteine.

Nimmt man die Bestimmungen der Temperaturen in MALLET's Versuchen als richtig an, so können die von ihm angegebenen Grössen der Contraction nicht auf den Werth zwischen Schmelzfluss und Krystallisation bezogen werden, da ein Theil der erstarrten Schlacke glasig geblieben war. Die Contraction der feurigflüssigen Schlacke zur krystallisirten muss grösser sein als MALLET angiebt, wengleich die von BISCHOF ermittelten Zahlen den Werth der Contraction zu gross angeben mögen.

Fasst man Alles zusammen, so erscheint es weder bewiesen, dass durch die Zerdrückung der Gesteine und durch die daraus mittelst Umsetzung gewonnene Wärme die vulkanische Thätigkeit bedingt werde, noch ist der Nachweis geliefert, dass die bisherigen Theorien so unzureichend seien,

um die Annahme einer neuen Ursache nothwendig erscheinen zu lassen. Die hohe Temperatur des Erdinnern und der Zutritt des Wassers zu demselben mittelst Capillarspalten genügen, wenn auch nicht Alles auf genaue Zahlen zurückgeführt werden kann, zur Erklärung der „explosiven“ vulkanischen Erscheinungen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 1875

Band/Volume: [27](#)

Autor(en)/Author(s): Roth Justus

Artikel/Article: [Ueber die neue Theorie des Vulkanismus des Herrn R. Mallet. 550-573](#)