

Zeitschrift

der

Deutschen geologischen Gesellschaft.

1. Heft (November, December 1868 und Januar 1869).

A. Aufsätze.

1. Mittheilungen von der Westküste Nordamerikas.

Von Herrn F. Baron RICHTHOFEN in San Francisco, Cal.

I.

Die natürliche Gliederung und der innere Zusammenhang der vulkanischen Gesteine.

(Fortsetzung.)

Ueber den Ursprung der vulkanischen Gesteine.

Die Frage nach dem Wesen und Ursprung der Eruptivgesteine ist seit den frühesten Zeiten der geologischen Wissenschaft unter den Gegenständen gewesen, welche besonderes Interesse auf sich gezogen haben. Speculation auf Grundlage unvollständigen Beobachtungsmaterials führte zu Hypothesen, welche jetzt als phantastisch erscheinen, und der Streit zwischen den Anhängern verschiedener Doctrinen wurde mit all der Bitterkeit geführt, welche Kämpfe auf geistigem Gebiet kennzeichnet, wenn keine Partei eine feste Grundlage hat, auf die sie ihr System in sicherer Schlussfolge stützen kann. Die stetig wachsende Ausdehnung und Tiefe der geologischen Beobachtung, die zunehmende Gliederung in einzelne Gebiete, auf denen die Geologie mehr und mehr mit anderen Wissenschaften in Berührung kommt, der mächtige Aufschwung der Chemie und Physik, von denen die allgemeinen Gesetze hergeleitet werden müssen, durch deren Führung allein eine inductive Schlussfolgerung auf grossen Gebieten der Geologie möglich ist, die Vervollkommnung endlich der im Laboratorium angewendeten Methoden und die dadurch erleichterte experimentelle Nachahmung natürlicher Vorgänge haben nach und

nach dem Geologen sicherere Grundlagen geliefert. In Folge dieses mannichfaltigen Fortschrittes ist der Geist der Speculation, welcher die erste Entwicklungszeit der geologischen Wissenschaft kennzeichnete, in neuerer Zeit in bemerkenswerthem Grade wieder erwacht. Dieselben Fragen vom tiefsten und allgemeinsten Interesse, welche damals den Geist beschäftigten, wie diejenigen über die frühe Entwicklungsgeschichte der Erde, über die Art der Entstehung und den Ursprung des Materials von solchen Gesteinen, welche von den Gebilden der gegenwärtigen Zeit abweichen, über die Entstehung und die Gesetze der Verbreitung der Gebirge und über die Grundgesetze, welche allen Veränderungen auf der Erdoberfläche, wie im Weltall überhaupt, zu Grunde liegen, diese Fragen treten auch jetzt wieder mehr und mehr in den Vordergrund; und wiewohl keine der versuchten Lösungen nicht schon in den Phantasmagorieen früherer Zeit ihr Urbild findet, so hat doch der Geist der inductiven Methode eine von der früheren weit verschiedene, wissenschaftliche Art der Behandlung herbeigeführt. In den letzten zwanzig Jahren insbesondere sind von den Geologen des europäischen Continents, sowie von denen Englands und der Vereinigten Staaten, eine Anzahl von Hypothesen über die angeführten und verwandten Gegenstände aufgestellt und scharfsinnig vertheidigt worden. Allein trotz der wachsenden Zahl festgestellter Beobachtungen hat sich die Spaltung der Theorieen nur vermehrt und erweitert, und die Literatur der verschiedenen Sprachen scheint darzuthun, dass in jeder derselben sich mehr und mehr eine Anzahl geologischer Doctrinen ausbildet, die oft weit von einander abweichen. Der Grund dieser Erscheinung liegt in der Unvollkommenheit und partiellen Gültigkeit der uns zu Gebote stehenden Prämissen, welche eine verschiedenartige Schlussfolgerung erlauben.

Unter den Gegenständen der Controverse nimmt die Frage über das Wesen und den Ursprung der Eruptivgesteine eine hervorragende Stellung ein. Alte Theorieen leben unter veränderten Formen wieder auf, und neue treten hinzu. Wie in früherer Zeit, so führen auch jetzt die verschiedenen Doctrinen den Ursprung der Eruptivgesteine zum Theil auf diejenigen Tiefen der Erdrinde zurück, welche sich unterhalb der Schale der Sedimentärgebilde befinden, theils wird ihr Sitz in diese selbst verlegt, und selbst ihre Entstehung durch chemische

Vorgänge an der Erdoberfläche hat ihre Vertheidiger. In einer Abhandlung, welche die Darstellung des natürlichen Systems eines Theils der Eruptivgesteine und ihres inneren Zusammenhanges zum Zweck hat, können wir uns einer Betrachtung der Fragen: Was sind die Eruptivgesteine? Was war ihr Sitz, und was ihre Beschaffenheit, ehe sie an ihre gegenwärtige Lagerstätte gelangten? Durch welche Kräfte wurden sie an letztere befördert? nicht entziehen. Die Lösung dieser Fragen müssen wir aus der Kenntniss derselben Wechselbeziehungen erwarten, deren Erforschung die Grundlage für das natürliche System bildet, und die im Vorhergehenden bereits dargestellten Verhältnisse dürften einige Stützpunkte bieten. Auch hier wiederum haben wir die Erscheinungen der Massenausbrüche von denen der vulkanischen Thätigkeit getrennt zu halten. Die Betrachtung der ersteren, zu der wir uns zunächst wenden, ist kaum ausführbar, ohne fortdauernd die Beziehungen der vulkanischen Gesteine zu der Gesamtclassen der Eruptivgesteine im Auge zu behalten. Die Wichtigkeit des Gegenstandes als erste Grundlage des natürlichen Systems und die Verschiedenheit und geschickte Vertheidigung der herrschenden Ansichten mögen es rechtfertigen, wenn wir der Frage nach dem Ursprung der Eruptivgesteine mehr Aufmerksamkeit zuwenden, als mit der Beschränktheit des Gegenstandes dieser Arbeit verträglich erscheinen dürfte. Wo man früher allgemeine Behauptungen aufstellte, die, als über allen Zweifel erhaben, sich Geltung verschafften und jetzt als feststehende Doctrinen in Lehrbüchern sich fortpflanzen, werden jetzt Beweise gesucht, um die Belege neuer und entgegengesetzter Theorieen zu schwächen. Die Kraft und Lebensfähigkeit mancher weit von einander abweichender Ansichten beweist, dass den meisten von ihnen Wahrheiten zu Grunde liegen, eine allseitig befriedigende Lösung aber noch fern ist, und dass selbst solche Lehren, die häufig als Axiome angenommen werden, einer beständigen Umgestaltung nach dem jeweiligen Fortschritt der Wissenschaft bedürfen.

1. Ursprung der Massenausbrüche.

Als Prämissen für weitere Schlüsse mögen wir die zum Theil schon erwähnten Thatsachen setzen: 1) dass alle vulkanischen, wie überhaupt alle eruptiven Gesteine in Beziehung

auf ihre chemische Zusammensetzung eine einfache, nach dem bekannten BUNSEN'schen Zahlengesetz geordnete Reihe bilden, in welcher zugleich das specifische Gewicht im umgekehrten Verhältniss mit der Kieselsäure zunimmt, bei sedimentären aber oder metamorphischen Sedimentgesteinen ein solches Gesetz nicht erkennbar ist; 2) dass die Reihenfolge, in welcher die vulkanischen Gesteine der verschiedenen Ordnungen zum Ausbruch gelangten, wiewohl anscheinend ohne innere Gesetzmässigkeit, doch in den entlegensten Gegenden wesentlich dieselbe gewesen ist und auch in untergeordneten Beziehungen (wie die Folge augitischer auf hornblendische Andesite) sich gleichmässig wiederholt; dass das Gesetz selbst für die Aufeinanderfolge mineralisch oder in der Textur verschiedener Modificationen des gleichen chemischen Gemenges gilt (wie Hornblende-Propylit, Hornblende-Andesit und Oligoklas-Trachyt), und dass ähnliche Beziehungen sich auch hinsichtlich der Aufeinanderfolge älterer Eruptivgesteine erkennen lassen; 3) dass die Massenausbrüche vulkanischer Gesteine in ausgedehnten Zonen über die Erdoberfläche vertheilt sind.

Aus diesen Thatsachen ergeben sich zunächst zwei allgemeine Schlussfolgerungen, welche deutlich die Richtung bezeichnen, in der wir nach dem Ursprung der Eruptivgesteine überhaupt zu suchen haben. Die erste bezieht sich auf den ursprünglichen Sitz des Materials. Aus der Gleichartigkeit der chemischen Zusammensetzung des Materials der Ausbruchsgesteine in verschiedenen Zeiten und verschiedenen Gegenden geht hervor, dass der ursprüngliche Sitz allenthalben und in allen Perioden ein gleichartiger gewesen ist, während die Gleichartigkeit der bestimmten Wechselbeziehungen, die sich in jenem Material, unabhängig von Ort und Zeit, erkennen lassen, den Schluss verlangt, dass Wechselbeziehungen ähnlicher Art an dem Ursitz des Materials stattfinden, und dass dieselben gleichmässig in allen Breiten des Erdballs herrschen müssen. Wir dürfen ferner schliessen, dass die verschiedenen Abstufungen in der chemischen Zusammensetzung der Ausbruchsgesteine an der ursprünglichen Lagerstätte in bestimmter und alleenthalben gleicher räumlicher Reihenfolge angeordnet sein müssen; denn nur durch gesetzmässige Anordnung im Raum kann die gesetzmässige Folge in der Zeit der Ausbrüche erklärt werden. Die zweite allgemeine Schlussfolgerung bezieht sich auf die Ursache

und die Art des Ausbruchs. Gleiche Wirkungen setzen im Allgemeinen gleiche Ursachen voraus. Die Aehnlichkeit der Massenaustrüben der vulkanischen und in der That aller eruptiver Gesteine verbundenen Erscheinungen ist offenbar. Wir dürfen daraus schliessen, dass die Art und die Ursachen ihres Hervorbrechens ebenfalls an verschiedenen Orten ähnlich gewesen sind, und dass die ihnen zu Grunde liegenden Kraftäusserungen die Folge von Vorgängen sind, welche gleiche Verbreitung mit dem Material der vulkanischen Gesteine, das heisst gleich dem Ursitz allgemeine Verbreitung haben. Die eigenthümliche geographische Vertheilung der gesammten Eruptivgesteine in verschiedenen Zeitaltern und die deutliche Absonderung von Eruptionsperioden, welche von solcher verhältnissmässiger Ruhe unterbrochen gewesen sind, führen jedoch zu der Voraussetzung, dass sich der perpetuirlichen und allgemeinen Aeusserung jener Kräfte ein Widerstand entgegengesetzte und sie auf bestimmte Zeitperioden der grössten Ansammlung von Spannkraft und in ihnen auf gewisse Gegenden des geringsten Widerstandes concentrirte. *)

*) Dieser Umstand ist wohl ein bedeutsames Argument gegen die Doctrin, dass die Veränderungen auf der Erdoberfläche zu keiner Zeit verschiedenartig von denen gewesen sind, noch heftiger als diejenigen, welche jetzt vor sich gehen, und dass sie daher nach dem Maass derjenigen Veränderungen, welche wir gegenwärtig beobachten, bemessen werden müssen, dass aber plötzliche oder durch kurze Epochen in ihrer Intensität gesteigerte Kraftäusserungen und Umgestaltungen nie stattgefunden haben, und alle Erscheinungen, welche darauf zu deuten scheinen, durch die Länge der geologischen Zeit erklärt werden können, in welcher langsame Vorgänge grossartige Endresultate haben konnten. So geistreich diese Theorie, welche den geologischen Phantasmagorien der früheren Zeit ein Ziel setzte und so viel zum Fortschritt der Wissenschaft beigetragen hat, vertheidigt worden ist, und so zahlreiche Anhänger sie noch immer hat, bedarf sie doch einer erheblichen Modification, da sie auf Schlüssen beruht, welche eins der wichtigsten Momente, den Widerstand gegen die Beständigkeit der Kraftäusserungen, unbeachtet lassen. Und doch bietet die Natur im täglichen Leben so zahlreiche Beispiele davon. Durch Jahre und Jahrhunderte sind Solfataren und eine langsame Hebung seiner ganzen Masse die einzigen Symptome der Thätigkeit des Vulkans. Aber plötzlich und heftig ist sein Ausbruch, der meistens mit allmäliger Abschwächung fortsetzt, bis wieder eine Zeit verhältnissmässiger Ruhe folgt. In diesem Fall hat man wohl selten an der ununterbrochenen Fortdauer der Wirkung unterirdischer Kräfte ge-

Es kann somit nur durch einen hohen Grad der Gleichförmigkeit der veranlassenden Umstände über die ganze Erde oder grosse Theile derselben erklärt werden, dass dieselben fünf Ordnungen vulkanischer Gesteine in verschiedenen Gegenden mit gleichem Gesteinscharakter und in gleicher zeitlicher Reihenfolge auftreten, und dass die angedeutete Harmonie aller mit ihnen verbundenen Erscheinungen über die ganze Erdoberfläche stattfindet, eine Harmonie, welche nur der Nachklang und die Fortsetzung derjenigen ist, welche sich unter den älteren Eruptivgesteinen beobachten lässt. Zufällige und örtlich beschränkte Umstände mögen die geringeren Verschiedenheiten bewirkt haben, aber die hervorstechenden Züge im

zweifelt, und die spasmodischen Ausbrüche werden der plötzlichen Ueberwindung des Widerstandes durch die allmählig angesammelte Kraft, also denselben Vorgängen zugeschrieben, welche wir für die unmessbar grösseren Erscheinungen der eruptiven Thätigkeit im Allgemeinen annehmen. Die Ursachen der geologischen Veränderungen und die Gesamtsumme der Kraft, welche ihnen zu Grunde liegt, sind allerdings nahezu, wenn auch nicht ganz, zu allen Zeiten gleich geblieben. Das Maass ihrer Wirkungen aber musste fortdauernden Schwankungen unterliegen. Im Hinblick auf unsere gegenwärtige Aufgabe ist jedoch nicht sowohl die Art dieser Schwankungen als die mit dem Alter der Erde fortschreitende Aenderung in den heftigen Kraftäusserungen oder Paroxysmen zu berücksichtigen. Es erscheint als eine natürliche Voraussetzung, dass zu einer Zeit, als die Erdrinde von geringer Dicke war, das gesammte Maass der Veränderungen durch unterirdische Vorgänge grösser sein musste als später, da mit der Zunahme der Erdrinde an Masse der Widerstand wachsen musste, den sie jenen entgensetzte. Zu gleicher Zeit müssen die Kraftäusserungen häufig, ihre jedesmalige Intensität aber verhältnissmässig gering und ihre einzelnen Verbreitungsbezirke räumlich beschränkt gewesen sein. Später jedoch, als die Dicke bedeutend zugenommen hatte, musste das Gesamtmaass der Kraftäusserungen abnehmen, da ein grösserer Antheil der Kräfte zur Ueberwindung des grösseren Widerstandes verwendet werden musste. Andererseits aber müssen die Unterbrechungen zwischen den einzelnen Paroxysmen von längerer Dauer, und daher diese selbst heftiger und grossartiger gewesen sein als früher, zugleich auch von grösserer geographischer Verbreitung, da die Aufspaltung der an Dicke wachsenden Rinde sich über grössere Zonen erstrecken musste. Wenn man die Entwicklung der eruptiven Thätigkeit von den ältesten Zeiten bis zur Gegenwart verfolgt, so ist diese periodische Aenderung der unterirdischen Kraftäusserungen unverkennbar. Wir werden im weiteren Verlauf dieser Arbeit Gelegenheit haben, darauf zu verweisen.

geologischen Auftreten und der geographischen Verbreitung können ihnen nicht zugeschrieben werden.

Soweit dürften die Schlussfolgerungen volle Berechtigung haben. Aber wenn wir die Ursachen der hier betrachteten Erscheinungen und die Art der die Eruptionen veranlassenden Umstände zu ergründen suchen, so betreten wir das Gebiet der Theorie. Die Prämissen sind für sichere Schlussfolgerungen nicht mehr zureichend, und nur der Grad der Wahrscheinlichkeit kann uns leiten. Von diesem Gesichtspunkt der grössten Wahrscheinlichkeit wollen wir die folgenden Fragen betrachten: Was war der ursprüngliche Sitz der Eruptivgesteine? Durch welche Vorgänge wurden die Spalten gebildet, durch welche sie an die Oberfläche gelangten? Durch welche Vorgänge wurde die Ejection der Gesteine durch die Spalten veranlasst?

Um zu einer Lösung der ersten Frage zu gelangen, haben wir besonderes Gewicht auf die Wechselbeziehungen der Eruptivgesteine in Hinsicht auf chemische und mineralische Zusammensetzung, specifisches Gewicht, Altersfolge, Gleichartigkeit in entlegenen Gegenden und Verbreitung zu legen. Was die Ursachen derselben betrifft, so kann bis jetzt keine Hypothese einen gleichen Grad von Wahrscheinlichkeit beanspruchen wie die von SARTORIUS VON WALTERSHAUSEN klar ausgesprochene: dass die Massen im Inneren der Erde nach chemischer Zusammensetzung und specifischem Gewicht regelmässig angeordnet sind; dass letzteres mit der Entfernung von der Erdoberfläche stetig zunimmt, während die Kieselsäure ebenso allmählig abnimmt; dass die Eruptivgesteine in ihrer von BUNSEN bewiesenen gesetzmässigen chemischen Reihung die inneren Massen der Erde darstellen; und dass dadurch die alte Annahme ihres ursprünglichen Sitzes unter dem Schauplatz der äusseren Veränderungen, das heisst unter den tiefsten Sedimentärgesteinen ihre kräftigste Stütze findet. Diese Hypothese hat für die Fragen, welche uns gegenwärtig beschäftigen, eine grosse Bedeutung; denn sie erklärt, wenn wir sie den vorher angeführten Prämissen hinzufügen, eine Fülle von Erscheinungen genügend, für deren Erklärung keine andere Theorie jemals auch nur den Grund zu legen vermochte. Ein Beweis für sie ist allerdings wohl niemals zu erwarten, und die mathematische Begründung, welche ihr Urheber versucht hat, kann wohl nur

dazu beitragen ihre Wahrscheinlichkeit zu vermehren. Aber durch nichts wird sie in gleichem Grade gestärkt, als durch ihre Fähigkeit einen natürlichen Grund für beobachtete That-sachen zu geben.*)

Auch eine negative Schlussfolgerung lässt sich zur Stützung der Wahrscheinlichkeit dieser Theorie anführen. Es ist voll-

*) B. v. COTTA (Gesteinslehre, 2. Aufl., S. 295) greift diese Theorie an, wiewohl er ihre Bedeutung zugiebt. Den Grund des Angriffs scheint die Annahme zu bilden, dass, wenn das Gesetz richtig wäre, die Gesammtreihe der Eruptivgesteine von den ältesten bis auf die jüngsten Zeiten eine der Zeit nach geordnete, regelmässige chemische Reihenfolge bilden müsste, wovon es zahlreiche Ausnahmen giebt. In der That sind Ausnahmen so häufig, dass sie bei oberflächlicher Betrachtung als die Regel erscheinen möchten. Ich werde indess im weiteren Verlauf dieser Arbeit zu zeigen suchen, dass die Altersfolge, wenn man sie in den Hauptrepräsentanten der Eruptivgesteine betrachtet, mit dem Gesetz übereinstimmt, und dass die verbreiteteren Ausnahmserscheinungen sich aus der Natur der Verhältnisse von selbst erklären und „Hülfs-hypothesen“ überflüssig machen, ja eine natürliche Folge desselben Gesetzes sind. COTTA giebt in der That die Theorie zu, wenn er sagt, dass „die Gesammtmasse der Erde für weit basischer gehalten werden mag als der Theil derselben, welcher der Beobachtung zugänglich ist.“ Was die Spaltung der Eruptivgesteine in zwei Reihen, eine basische und eine saure, und die Annahme zweier getrennter Heerde betrifft, so haben sie gewiss auf Island ihre volle Berechtigung; das örtlich beschränkte Verhältniss auf dieser Insel wiederholt sich auf St. Paul und an anderen einzelnen Vulkanen. Die Verallgemeinerung der Annahme jedoch widerspricht allen Beobachtungen wie allen geologischen Vorstellungen und würde die Mehrzahl der die Eruptivgesteine begleitenden Erscheinungen völlig unerklärbar machen. Wie will man zum Beispiel dadurch die grossen Ausbrüche von Andesit erklären in Gegenden, wo ein „saurer Heerd“ keine Spur seiner Existenz hinterlassen hat? Und in der That spielen ja die beiden „normalen“ Mengungen eine untergeordnete Rolle und werden von der endlosen Zahl der Zwischenstufen ganz zurückgestellt. Ist aber die Annahme zweier getrennter Heerde über die vulkanischen Erscheinungen Islands hinaus unnatürlich, so ist die Voraussetzung einer gleichartigen Zusammensetzung der Erde gegen das Innere hin im Widerspruch mit astronomischer Beobachtung und physikalischen Gesetzen und kann nichts erklären. Allmälige Zunahme des specifischen Gewichts nach dem Mittelpunkt der Erde und eine damit verbundene allmälige Aenderung der chemischen Zusammensetzung, dies scheint die einzige Annahme, welche nicht nur mit anderen erwiesenen Gesetzen in Uebereinstimmung steht, sondern aus ihnen unmittelbar sich ergibt, wie sie auch eine Fülle von geologischen That-sachen in der natürlichsten Weise erklärt.

kommen klar, dass der ursprüngliche Sitz eruptiver Gesteine entweder unterhalb der unteren Grenze der Schale der Sedimentgebilde oder oberhalb derselben gewesen sein muss. Während die erstere Annahme eine befriedigende, wenn auch noch vielfach lückenhafte Erklärung der Wechselbeziehungen bietet, welche die Ausbruchsgesteine verbinden, ist es offenbar, dass die zweite Annahme selbst mit Hülfe der willkürlichsten Hypothesen gar keine Erklärung zu geben vermag. Denn wenn jener Ursitz innerhalb der Schale der Sedimentgesteine läge und die Eruptivgesteine aus der Umschmelzung der letzteren hervorgegangen wären, so müssten sie ihnen in Beziehung auf chemische Zusammensetzung ähnlich sein, das heisst sie müssten in dieser Hinsicht in jeder einzelnen Gegend zwischen weiten Grenzen ohne erkennbare Gesetze schwanken, und ähnliche, regellose Unterschiede würde ihre Gesamtheit in einer Gegend von der an anderen Orten bieten. Das Bestehen von Zahlengesetzen in ihrer chemischen Zusammensetzung schliesst daher die Möglichkeit ihrer Entstehung aus Sedimentgesteinen vollständig aus und erlaubt nur die Annahme, dass sie aus Regionen unterhalb derselben stammen, aus solchen Massen, welche die ursprüngliche Zusammensetzung des Erdballs darstellen und aus diesem Grunde ähnliche Gesetze der chemischen Zusammensetzung und des specifischen Gewichts bieten müssen, wie wir sie bei den Ausbruchsgesteinen beobachten.

Die zweite Frage, für welche dasselbe Kriterium der grössten Wahrscheinlichkeit anzuwenden ist, betrifft die Ursachen, welche die Bildung der Spalten veranlassten, durch welche die vulkanischen und älteren Ausbruchsgesteine von ihrem tief gelegenen Sitz empordrangen. Schon längst hat sich bei den Vertheidigern der Theorie des Ursprungs der letzteren aus Regionen unterhalb der Sedimentgebilde die Ansicht festgestellt, dass die Erhebung von Gebirgsketten, die secularen Hebungen und Senkungen, die Ausbrüche von Gesteinen und die Erdbeben von grösserer Verbreitung, überhaupt alle Erscheinungen, welche oft mit dem Ausdruck „Vulcanismus“ zusammengefasst werden, die Folge der allmäligen Contraction der Masse der Erde durch Abkühlung und Erstarrung sind. Allein abgesehen davon, dass die meisten dieser Erscheinungen wahrscheinlich das Resultat von verschiedenen Vorgängen sind,

unter denen die Abkühlung der Erde der wichtigste ist, stösst die Theorie auf unüberwindliche Schwierigkeiten, wenn, wie es gewöhnlich geschieht, Contraction allein und ein durch sie verursachtes Zusammenschrumpfen der festen Erdrinde auf dem sich verkleinernden Kern als die leitende Ursache, und die Gebirge als die bei diesem Process an den Grenzen der jeweiligen Senkungsfelder emporgetriebenen Falten, die Eruptivgesteine aber als Theile des feurigflüssigen Erdinnern angenommen werden, welche durch die Wirkung des Druckes allein in den Spalten emporgetrieben wurden. Diese Schwierigkeiten sind so offenbar, dass ihre ausführliche Entwicklung hier übergangen werden kann. Wir führen nur kurz an, dass die secularen Hebungen und Senkungen ausgedehnter Gebiete innerhalb der historischen Zeit so bedeutend gewesen sind, dass, wenn sie sämmtlich auf Senkungen zurückgeführt, und die Hebungen nur als scheinbar, das heisst durch das Zurückbleiben gewisser Landstriche bei der Senkung benachbarter Gebiete veranlasst angenommen werden, der Halbmesser der Erde sich erheblich mehr verkürzt haben müsste, als mit den Berechnungen von LAPLACE und FOURIER vereinbar ist; dass das Ausfüllen von Spalten mit Eruptivmassen von unten und das Ueberströmen der letzteren an der Oberfläche durch jene Theorie ebensowenig erklärt werden können als irgend welche Gesetzmässigkeit in der Aufeinanderfolge von Eruptivgesteinen von verschiedener Zusammensetzung; dass die Bildung von solchen Spalten, welche sich nach unten öffnen und allein dem zähflüssigen Material Zugang gestatten würden, in Senkungsfeldern, nicht aber in den als blossen Falten betrachteten Gebirgen stattfinden müsste, während doch Hochflächen ganz besonders der Schauplatz der Massenausbrüche, wenigstens der vulkanischen Gesteine gewesen sind; dass endlich die Theorie eine beständig fortdauernde langsame Senkung des grösseren Theils der Erdrinde erfordern würde, und die Thatsache, dass Perioden heftiger eruptiver Thätigkeit nach langen Perioden der Ruhe gefolgt sind, mit ihr nicht im Einklang sein würde.

Diese Theorie hat keine Wahrscheinlichkeit für sich. Die Vorgänge unter der Erdrinde können daher nicht bloss in einer fortdauernden Contraction bestehen. Zahlreiche Thatsachen, die wir zum Theil im weiteren Verlauf dieser Arbeit erwähnen werden, nöthigen zu der Annahme, dass es Vorgänge giebt,

welche der allgemeinen Volumenverminderung entgegenwirken, und dass dieselben Prozesse dahin streben, eine allmälige Ansammlung von Spannkraft nach aussen unter der Erdrinde zu erzeugen. Die aufmerksame Betrachtung der verschiedenartigen Erscheinungen des Vulcanismus führt in der That mit zwingender Nothwendigkeit zu der Annahme, dass mit der langsamen und vollkommenen Krystallisation zähflüssiger Silicate unter der festen Erdrinde eine Volumenvermehrung verbunden ist. *) Dieser Vorgang ist bereits vor längerer Zeit

*) Die Zahl der Stoffe, bei denen eine derartige Volumenvermehrung mit Bestimmtheit nachgewiesen worden ist, ist allerdings gering. Allein dies mag seinen Grund zum Theil in der Unvollkommenheit der Untersuchungsmethoden haben. Sie sind für wenige Stoffe so einfach wie für Wasser, und wahrscheinlich ist die Zunahme des Volumens bei wenigen so bedeutend wie bei diesem und bei Wismuth. Im Allgemeinen nimmt das Volumen flüssiger Körper bei der Abkühlung ab, und es scheint auch beim Festerwerden noch abzunehmen, wenn keine Gelegenheit zu vollkommener Krystallisation gegeben ist, aber bei vielen eine Zunahme zu erfahren, wenn die letztere stattfinden kann. Wenn daher ein Körper im festen Zustand ein kleineres Volumen einnimmt als ein flüssiger, so schliesst dies die Möglichkeit nicht aus, dass er im Augenblick der Krystallisation sein Volumen vermehrt; denn diese Zunahme mag geringer sein als die vorhergehende Abnahme. Bei denjenigen Silicaten, welche krystallinische Gesteine zusammensetzen, ist die Untersuchung besonders schwierig auszuführen, theils weil die Bestimmung ihres Volumens im zähflüssigen Zustand kaum mit Genauigkeit geschehen kann, theils weil man ihnen nicht hinreichende Zeit zur vollkommenen Krystallisation zu geben vermag. Es giebt jedoch einige Thatsachen, welche nahezu den Werth von Experimenten haben dürften. Wir führen davon nur eine, besonders beachtenswerthe an, welche F. ZIRKEL in seinen „Mikroskopischen Gesteinsstudien“ (Wien. 1863) mittheilt. Glasporen und Wasserporen enthalten gewöhnlich jene kleinen, luftleeren Bläschen, die SORBY und Andere bereits durch die Volumenverminderung der in den Poren eingeschlossenen Substanz bei der Abkühlung erklärt hatten. Oft ist die Glasmasse ganz oder zum Theil krystallinisch geworden, und sie bildet im letzteren Fall eine Steinpore. In denjenigen Bläschen nun, welche zum Theil aus Glas, zum Theil aus steiniger Substanz bestehen, sind die Bläschen selten, und in den vollkommenen Steinporen kommen sie niemals vor. In diesem Fall ist also die Thatsache einer Volumenvermehrung selbst durch eine unvollkommene Krystallisation vollkommen klar. Dies ist ein Fall, in welchem natürliche Verhältnisse eine subtilere Beobachtung und Messung gestatten, als sie bei Experimenten über verwandte Gegenstände gewöhnlich ausgeführt werden können. Es braucht kaum erwähnt zu werden, dass die Versuche über die Volumenvermehrung der Gesteine durch Schmelzung, welche BISCHOF und Andere ausgeführt ha-

als die mögliche Ursache der langsamen Hebungen angedeutet und von C. F. NAUMANN als ein wahrscheinliches Hauptagens des Vulcanismus überhaupt hervorgehoben worden.

Die Abkühlung der Erde wird also mit grosser Wahrscheinlichkeit die folgenden unmittelbaren Wirkungen hervorbringen: 1) Zusammenziehung der flüssigen Massen unter der Erdkruste durch Verminderung ihrer Wärme bis zu derjenigen Temperatur, bei welcher unter dem entsprechenden Druck Krystallisation stattfinden kann; 2) Volumenvermehrung durch langsame und vollkommene Krystallisation; 3) Zusammenziehung der krystallisirten Massen durch weitere Wärmeabgabe. Es ist allerdings unmöglich, eine klare Vorstellung der Art zu erhalten, in welcher diese verschiedenen Vorgänge nebst anderen, die wir nicht kennen, zusammenwirken, um einander nicht aufzuheben und die Bewegung der Erdrinde nur nach einer Richtung zur Folge zu haben, sondern jene Verschiedenheit der Vorgänge von Hebung und Senkung und anderer Dislocationen der Erdrinde hervorzubringen, welche wir beobachten. Die Gesamtwirkung ist offenbar verschieden unter verschiedenen Theilen der Erdoberfläche und besteht hier in Zusammenziehung, welche Senkung und in weiterer Folge Ablagerung von Sedimenten verursacht, dort in Volumenvermehrung, die Hebung und Denudation veranlasst. Wenn man die allmäligen Uebergänge des Aggregatzustandes von dem flüssigen Inneren zu der festen Rinde bei einem Lavastrom in Betracht zieht, so darf man annehmen, dass bei den unmessbar grösseren Massen unter der Erdrinde und bei unmessbar langsamerer Abkühlung und Krystallisation die räumliche Ausdehnung dieser Uebergangszustände unmessbar gesteigert sein muss. Diesem Umstand mag es zuzuschreiben sein, dass die Spannkkräfte

ben, auf die vorliegende Frage nicht anwendbar sind. Zuvörderst mag der geschmolzene Zustand von dem verschieden sein, in welchem sich die Substanz unmittelbar vor der Krystallisation befindet, und der Uebergang von dem einen in den anderen mag mit einer Volumenabnahme verbunden sein, welche durch die nachfolgende Volumenvermehrung bei der Krystallisation nicht aufgewogen wird. Ferner ist in Betracht zu ziehen, dass die Gesteine unter hohem Druck festgeworden waren, während sie im geschmolzenen Zustand nur dem Druck der Atmosphäre ausgesetzt waren. Endlich ist es keineswegs bekannt, ob alles Wasser beim Schmelzen entweicht, oder nicht. Bleibt ein Theil zurück, so muss seine wahrscheinliche Wirkung sein, die geschmolzene Masse aufzublähen.

unter der festen Erdrinde einen Widerstand finden, und die Resultante der entgegenwirkenden Volumenveränderungen sich in verschiedenen Gegenden verschiedenartig und unabhängig kundgeben kann.

Dieselben langsam und stetig wirkenden Agentien nun, welche die langsamen Niveauveränderungen verursachen, haben wir auch als die nächste Ursache der zeitweiligen Bildung von Spaltensystemen nach gewissen Gesetzen und damit als die Grundursache der zeitweiligen Ausbrüche von Gesteinsmassen aus der Tiefe anzusehen. Bei Betrachtung der Geschichte der Massenausbrüche auf der Erde fanden wir die bestimmte Thatsache, dass in der Geschichte jeder Gegend lange Perioden verhältnissmässiger Ruhe durch solche unterbrochen waren, in denen vermittelt der Bildung von nach oben geöffneten Spalten eine ausserordentlich heftige eruptive Thätigkeit stattfand. In frühen Zeiten waren diese Vorgänge unabhängig in einzelnen Gegenden von beschränkter Ausdehnung, und die Perioden der Ruhe waren kurz. Später walteten diese vor, und die Ausbrüche fanden gleichzeitig über weite Landstriche statt (wie in der Zeit des Ausbruchs der permischen und triasischen Porphyre in Europa und der jurassischen Granite in den Anden). Aber der grossartigste dieser paroxysmatischen Vorgänge, weil der am allgemeinsten und gleichmässigsten über der Erdrinde verbreitete, war die Wiederaufnahme der eruptiven Thätigkeit in der ersten Hälfte der Tertiärperiode nach langen Zeiträumen allgemeiner verhältnissmässiger Ruhe. Wo während der letzteren, oder während ihres späteren Theils, langsame Hebung durch Volumenvermehrung stattfand, musste ein ungeheueres Maass von nach aussen gerichteter Spannkraft angesammelt werden. Unter Senkungsfeldern waren die Bedingungen ganz andere. Die Spannkraft ist in ihnen nach dem Erdinneren gerichtet, und der Widerstand, welcher sich ihrer freien Wirkung entgegensetzt, muss ungefähr gleich der Cohäsion der die Kruste zusammensetzenden Massen weniger deren Gewicht sein. Spalten werden häufig gebildet werden, aber nicht nach der Oberfläche geöffnet sein. Bei Hebungsfeldern aber muss der Widerstand gegen die nach aussen gerichtete Spannkraft ungefähr gleich der Summe von Cohäsion und Gewicht sein. War ein hinreichendes Maass von Kraft angesammelt, um ihn zu überwinden, so musste dies durch

Aufspaltung der Kruste an den Stellen des geringsten Widerstandes geschehen. Die so gebildeten Spalten würden die feste Erdkruste durchsetzen und nach oben geöffnet sein. Ihre Richtung musste wahrscheinlich durch die krystallinische Structur der Erdkruste bestimmt werden und sich mit der Dicke derselben ändern, da angenommen werden muss, dass die Richtungen der die leichteste Spaltbarkeit bedingenden krystallinischen Flächen sich mit der chemischen Zusammensetzung nach der Tiefe ändern. Die Ausdehnung der Spaltensysteme endlich musste in jeder Periode und in jeder Gegend eine Function der Mächtigkeit der festen Kruste und der Ausdehnung der Region sein, über welche sich die nach aussen gerichtete Spannkraft erstreckte.

Allein wenn auch die angedeuteten Vorgänge die Grundbedingung der Gesteinsausbrüche, nämlich die Bildung von Systemen nach oben klaffender Spalten erklären, so vermögen sie doch in keiner Weise eine befriedigende Lösung unserer dritten Frage zu geben, welche die Agentien betrifft, die das Empordringen der Massen selbst aus der Tiefe veranlassten. Hinsichtlich dieser Frage geben die Versuche von DAUBRÉE und die mikroskopische Untersuchung der Textur von Gesteinen durch SORBY eine bessere Grundlage für Schlussfolgerungen, als man je zuvor besessen hat. Es ist eine allgemein verbreitete Ansicht gewesen, dass die Oeffnung einer Spalte in die Regionen flüssiger Massen für sich selbst hinreichend sein würde das Aufsteigen derselben nach der Oberfläche zu veranlassen. Allein diese Annahme ist nicht im Einklang mit physikalischen Gesetzen. Wenn wir von den phantastischen Theorieen absehen, denen gemäss grosse Theile der Erdkruste eine plötzliche Senkung erfahren und die flüssigen Massen mit Gewalt in die Spalten hineintreiben, so haben wir es noch mit anderen zu thun, nach denen das Gewicht der Kruste die Füllung der Spalten und die Anhäufung der flüssigen Massen an der Erdoberfläche verursachen würden. Wäre die spezifische Schwere der festen Rinde grösser als die der darunter befindlichen zähflüssigen Massen, so wäre ein solcher Vorgang nicht unwahrscheinlich, und wir müssten in der That erstaunt sein, dass nicht grosse Theile der Erdoberfläche zu wiederholten Malen von feurigflüssigen Massen überfluthet worden sind. Die Bildung einer festen Kruste wäre dann überhaupt unmög-

lich gewesen. Wäre das specifische Gewicht der Kruste und der flüssigen Massen gleich, so würde es der ungeheuersten Zerberstung der Kruste und Ueberstürzung ihrer Bruchstücke bedürfen, um die flüssige Masse an die Oberfläche gelangen zu lassen. Allein Alles, was wir über den Gegenstand wissen, geht dahin, zu beweisen, dass das specifische Gewicht mit der Entfernung von der Erdoberfläche nach dem Erdinneren zunimmt. Die Annahme der Emportreibung flüssiger Massen in der Tiefe durch Spalten in Folge des Gewichtes der Kruste ist daher die Annahme eines mechanisch unmöglichen Vorganges.

Wir gelangen zu keinem befriedigerenden Resultat in Betreff des vorliegenden Problems, wenn wir, wie wir es im Vorhergehenden thaten, ausser der Contraction der Erdmasse auch noch das Vorhandensein anderer Kräfte annehmen, welche ihren Ursprung in der Volumenzunahme der zähflüssigen Massen unter der Erdrinde durch Krystallisation haben und sich in einer Spannung nach aussen bethätigen. Die durch diese Kraft gebildeten Spalten würden nach der Oberfläche geöffnet, nach der Tiefe aber geschlossen sein. Man kann daher nicht annehmen, dass sie, wiewohl die ganze Dicke der festen Erdkruste durchsetzend, zu Massen hinabreichen würden, die flüssig genug wären, um in ihnen aufzusteigen. Wenn sie dies aber zu thun vermöchten, so würden sie lange vor ihrer Ankunft an der Erdoberfläche durch Wärmeverlust erstarren. Allein es ist leicht einzusehen, dass sie überhaupt gar nicht in die Spalten eindringen könnten. Denn, wenn unsere Voraussetzung, dass die Silicate unterhalb der Erdkruste durch Krystallisation eine Volumenvermehrung erfahren, richtig ist, so muss die durch die Aufreissung der Spaltensysteme verursachte Verminderung der Spannkraft eine ausserordentliche Beschleunigung der Krystallisation zur Folge haben. Denn da die Erstarrungstemperatur von solchen Stoffen, welche bei der Krystallisation eine Volumenzunahme erfahren, durch Druck erniedrigt wird, so müssen vor der Aufspaltung grosse Massen durch die in Folge der Krystallisation benachbarter Massen selbst geschaffene Spannkraft in der Tiefe in zähflüssigem Zustand erhalten worden sein und nun bei der Verminderung derselben in den festen Zustand übergehen. Es bedürfte aus diesen Gründen der Mitwirkung anderer Agentien, um nicht allein das Aufstei-

gen der Massen in den Spalten möglich zu machen, sondern sie auch in jenen eigenthümlichen Aggregatzustand überzuführen, in dem sie sich nach den Beobachtungen von SORBY unmittelbar vor ihrer Erstarrung an der Oberfläche befunden haben. Diese vermittelnde Rolle muss nach diesen Beobachtungen und den Versuchen von DAUBRÉE dem Wasser zugeschrieben werden, dessen Zutritt in die tiefen Theile geöffneter Spalten wir ohnehin als eine nothwendige Folge von deren Bildung voraussetzen müssen. Das Wasser musste die Silicate in der Tiefe in den Zustand „wässriger Schmelzung“ überführen, den sie bei ihrer Ankunft an der Oberfläche gehabt haben, und in Folge der damit verbundenen Volumenvermehrung Anlass zu Vorgängen von ganz anderer Art geben, als vorhergegangen waren. Denn die mit der wässrigen Schmelzung verbundene Ausdehnung würde eine Bewegung der flüssig gewordenen Massen in der Richtung des geringsten Widerstandes, das heisst aufwärts in der Spalte verursachen und bei hinreichend langer Fortdauer würden dieselben an der Oberfläche überfliessen, ohne dass eine andere bewegende Kraft wie die des Dampfes zu Hülfe zu kommen brauchte. Eine solche treibende Kraft aber kann von theoretischem Gesichtspunkt nicht angenommen werden. Denn wenn die Berechnung richtig ist, dass der Dampf das Maximum seiner Spannkraft erreicht, wenn er die Dichtigkeit des Wassers hat, welche er bei einem Druck von 8300 Atmosphären erreichen würde, so würde er (nach Berechnung von BÈTE JUKES das specifische Gewicht der Lava = 3 gesetzt) höchstens eine Lavasäule von 88747 Fuss tragen können. Der Ursitz der Eruptivgesteine muss natürlich als in weit grösserer Tiefe befindlich angenommen werden, und der Dampf konnte daher, wenigstens bei der Emportreibung von grosser zu geringerer Tiefe, nicht thätig sein.

Sind diese Betrachtungen richtig, so müssen die Massenausbrüche der Eruptivgesteine als verhältnissmässig ruhige und langsame Vorgänge von langer Dauer angesehen werden, welche kaum von jenen paroxysmatischen Ereignissen begleitet waren, die der vulkanischen Thätigkeit eigenthümlich sind. Allerdings musste das in der Gesteinsmasse enthaltene überhitzte Wasser bei der Verminderung des Druckes in den oberen Regionen zum Theil in den gasförmigen Zustand übergehen und seine expansive Kraft bethätigen. Allein selbst in den zähflüssigsten

Massen würde es wegen der Grösse der Oeffnungen kaum eine andere Wirkung hervorbringen als ein fortdauerndes Aufkochen in ähnlicher Weise, wie es heutigen Tages in dem Lava-See des Kilanea stattfindet. Wenn man grosse Anhäufungen von Eruptivgesteinen betrachtet, wie die Andesitgebirge Ungarns oder das Quarzporphyrplateau von Botzen oder den Granit der Sierra Nevada, so scheinen ihre geologischen Verhältnisse eine Bestätigung der durch die Theorie geforderten Vorgänge zu bieten. Allerdings deuten sie darauf hin, dass der Vorgang des Emporquellens der flüssigen Massen intermittierend war und öfters Erstarrungskrusten sich bildeten, die bei erneuerten Emporquellen durchbrochen wurden. In der letzteren Weise konnten besonders jene mächtigen und unregelmässigen Anhäufungen von Breccien gebildet werden, wie sie vorzüglich dem Propylit, Andesit und Quarzporphyr eigenthümlich sind. Die Massenausbrüche, nur eine Folge der durch den mehr oder weniger unterbrochenen Wasserzfluss nach tiefen Regionen geregelten Fortdauer der Volumenvermehrung, scheinen daher die ruhige Entladung der überschüssigen Masse zu sein, welche in dem gegebenen Raum der Spalte keinen Platz fand. Dass sie, besonders bei der Wiederaufnahme der Ausflussthätigkeit nach Perioden der Unterbrechung, von der Bildung seitlicher Spalten, Ausbrüchen von heissen Wasseru und Gasen und anderen Erscheinungen begleitet waren, ist theoretisch sehr wahrscheinlich und wird durch die grossartigen geologischen Anzeichen solcher Vorgänge bewiesen.

Gehen wir in diesen Schlussfolgerungen auf der Grundlage der Hypothese von SARTORIUS VON WALTERSHAUSEN und der unbewiesenen Annahme der Volumenzunahme der Silicate durch langsame und vollständige Krystallisation noch weiter, so geben sie in der That die Bedingungen zu den hauptsächlichsten Erscheinungen an die Hand, welche wir in Betreff der Ausbrucherscheinungen der vulkanischen Gesteine wahrnehmen. Wir wiesen darauf hin, dass die durch den Druck vorher in zähflüssigem Zustand erhalten gewesenen Massen in den Umgebungen des Grundes einer Ausbruchsspalte durch die Verminderung des Drucks in beschleunigter Weise in den krystallisirten Zustand übergeführt werden müssen. Dieser Vorgang muss sich mit allmäliger Abnahme der Beschleunigung auf beträchtliche seitliche Entfernung von der Spalte, und wenn deren

mehrere vorhanden sind, auf die gesammte Region unterhalb einer Ausbruchszone erstrecken. Wiederum wird die Krystallisation eine Volumenzunahme verursachen und Spannkraft hervorrufen; denn sie betrifft solche Massen, welche sich im ursprünglichen Zustand befinden und keine wässrige Schmelzung erfahren haben, daher auch aus den vorher angeführten Gründen durch Aufsteigen in den Spalten den Widerstand nicht überwinden können. Ich werde an einer anderen Stelle zu zeigen suchen, inwiefern die mit den Massenausbrüchen verbundenen Hebungerscheinungen diesen Vorgang bestätigen, indem sie in ihm ihre Erklärung finden. An dieser Stelle weisen wir nur darauf hin, wie die wachsende Spannung schliesslich eine Aufspaltung der neu erstarrten Massen bewirken muss. Ist in der Zwischenzeit das in den Canälen der ersten Epoche aufgestiegene Material wenigstens theilweise in den festen Zustand übergegangen, so wird nun ein neues Spaltensystem innerhalb der Grenzen des früheren geschaffen werden. Diese Spalten der zweiten Epoche müssen in grössere Tiefe hinabreichen als die der ersten und, indem sie auch dem Wasser Zugang zu tieferen, das heisst basischeren Massen gestatten als in der vorhergehenden Epoche, für dieselben einen Ausweg schaffen. Durch diesen Vorgang oder dessen nochmalige Wiederholung mag der Heerd, dem die Gesteine entströmen, in verhältnissmässig kurzen Zeiträumen in bedeutende Tiefe verlegt und dadurch eine grosse aber in Beziehung auf Zusammensetzung und Aufeinanderfolge geregelte Mannichfaltigkeit unter den Auswurfsproducten eines Spaltensystems hervorgebracht werden. Der Vorgang muss sein Ende erreichen, wenn er nach der Tiefe bis zu Massen vorgeschritten ist, die sich in einem solchen Aggregatzustand befinden, dass Verminderung des Drucks allein keine Krystallisation und daher keine weitere Volumenzunahme hervorbringen würde. Das noch in den Ausbruchsspalten vorhandene Material wird nun erstarren und die Verbindung mit der Oberfläche (bis auf die vulkanischen Canäle) abgeschnitten werden. Der von der Erdrinde gebotene Widerstand wird nun grösser sein, als er vor der ersten Aufspaltung war, und es muss eine abermalige Periode der Ruhe eintreten von längerer Dauer als die vorhergehende.

Untersuchen wir nun, in wie weit der hier angedeutete Vorgang eine Erklärung der im vorigen Abschnitt auseinander-

gesetzten Wechselbeziehungen von Alter, Zusammensetzung und geographischer Verbreitung der Eruptivgesteine zu geben vermag. Man könnte in der That den Gang der natürlichen Erscheinungen in seinen Grundzügen a priori aus der Hypothese von SARTORIUS VON WALTERSHAUSEN und der Annahme einer Volumenvermehrung der Silicate bei der Krystallisation ableiten. Es würde sich zunächst der Schluss ergeben, dass in früher Zeit, als die Erstarrungsrinde und die Schale der Sedimentgebilde nur von geringer Dicke waren, Aufspaltungen und Durchbrüche häufig stattfinden und das Ausbruchsmaterial wesentlich aus den leichten und kieselsäurereichen Gemengen zunächst der Oberfläche bestehen mussten. Wir dürfen annehmen, dass die Granite jener frühen Zeiten entweder gar nicht oder nur in sehr beschränktem Maass an der Oberfläche sichtbar sind. Die uns bekannten Gebilde der azoischen und paläozoischen Perioden stellen jedenfalls einen weit vorgeschrittenen Zustand in der Entwicklung unseres Planeten dar. Alle hervorstechenden Eigenthümlichkeiten der Eruptivgebilde in diesen Perioden, wie die Individualisirung einer grossen Anzahl von bestimmt begrenzten, wiewohl oft in einander übergehenden granitischen Eruptionsgebieten, die Selbstständigkeit eines jeden in Beziehung auf die Stufe, welche seine vorwaltenden Gesteine in der Reihe der chemischen Gemenge darstellen, wie auf den Grad seiner petrographischen Entwicklung und auf den Anfang und die Dauer der Eruptionsperiode, das bedeutende Vorwalten kieselsäurereicher, beinahe zum Ausschluss basischer Gemenge, das beständige Vorkommen der letzteren in der Nachbarschaft von Granit, die relative Vermehrung derselben in der devonischen Periode — alles Dies sind Erscheinungen, die sich aus der entwickelten Reihe natürlicher Vorgänge von selbst ergeben würden. Der Metamorphismus, der in einem frühen Alter der Erde wahrscheinlich allgemein über die Erdoberfläche verbreitet gewesen war, scheint sich in den genannten Perioden auf die Gebiete granitischer Ausbrüche concentrirt zu haben.

Wenden wir uns von der paläozoischen Zeit unmittelbar zur Tertiärperiode. Als nach langer Ruhe die Propylite die heftige eruptive Thätigkeit der Tertiärperiode eröffneten, war die Abkühlung der Erde bedeutend vorgeschritten. Massenhafte Anhäufung von Sedimentgesteinen hatte die Dicke der Erdrinde

nach aussen vermehrt, und in weit höherem Grade war sie nach innen durch die Krystallisation vorher zähflüssig gewesener Massen angewachsen. Vorzüglich mussten jene kieselsäurereichen Gemenge von geringem specifischem Gewicht erstarrt sein, welche früher das Material zu den massenhaften Ausbrüchen quarzhaltiger Gesteine geliefert hatten. Die Grenze zwischen Festem und Zähflüssigem (soweit man bei so unendlich allmäligen Uebergängen von einer Grenze sprechen darf) musste in grösserer Tiefe, in der Region specifisch schwererer und kieselsäureärmerer Gemenge sein. Die Gleichartigkeit des Materials der ersten (propylitischen und andesitischen) Ausbrüche in verschiedenen Gegenden deutet darauf hin, dass in den Theilen, welche der Schauplatz eruptiver Thätigkeit wurden, das Hinabrücken jener Grenze nahezu gleichmässig vor sich gegangen sein muss. War nun die in der oben angedeuteten Weise allmähig angewachsene Spannkraft hinreichend, um den Widerstand zu überwinden, so konnte ihre Wirkung nicht mehr in der Bildung zahlreicher individualisirter und beschränkter Spaltensysteme bestehen, sondern musste sich in der Entstehung langgestreckter Spaltungszonen manifestiren, wie wir sie beobachten. Das erste Ausbruchsmaterial aber musste aus grösserer Tiefe kommen, das heisst basischer sein als früher, während in weiterer Folge fernere Aufspaltungen noch basischeres Material zu Tage fördern mussten. In der That besteht die grosse Masse der vulkanischen Gesteine aus Propylit und Andesit in dem ersten, aus Basalt in dem zweiten Abschnitt der Periode. Eine scheinbare Abweichung von der gesetzmässigen Folge findet durch das untergeordnete Hervorbrechen von Trachyt und Rhyolith zwischen diesen zwei Epochen statt. Wenn man aber in Betracht zieht, dass jene kieselsäurereichen Gesteine stets dem Andesit nachfolgten, und besonders, dass sie stets in dessen Eruptionscanälen oder in ihrer unmittelbaren Nachbarschaft aufstiegen, während der Basalt zumeist erst in einiger Entfernung und ungleich selbstständiger auftritt, so liegt der Schluss nahe, dass Trachyt und Rhyolith unmittelbar von den Ausbrüchen des Andesits abhängen, zu denen des Basalts aber in gar keiner Beziehung stehen. Nach den Hauptausbrüchen des Andesits, als sich neue Vorgänge in grösserer Tiefe langsam vorbereiteten, die später mit der Aufspaltung bis zur basaltischen Region hinab endeten,

scheint der Heerd der eruptiven Thätigkeit aus der andesitischen Tiefe allmählig nach höheren Theilen in die Regionen kieselsäurereicherer Gemenge vorgeschritten zu sein. Es fehlt nicht an wahrscheinlichen Bedingungen verschiedener Art, welche eine Schmelzung und den Ausbruch dieser Gemenge aus Spalten veranlassen konnten. Der Umstand, dass Trachyt und Rhyolith einen vorwaltend vulkanischen Ursprung gehabt haben, scheint der Annahme solcher Vorgänge besonders günstig zu sein. Ich werde im weiteren Verlauf auf diesen Gegenstand zurückkommen.

Manche untergeordnete Eigenthümlichkeiten vulkanischer Gesteine, welche von den Hauptvorgängen unabhängig sind, bleiben allerdings damit unerklärt. Dahin gehört das Vorkommen von Nevadit oder von Perlstein an gewissen Orten und ihre Abwesenheit an anderen, das Auftreten von Hornblende-Oligoklas-Gesteinen in der mehrfach erwähnten Modification, die Thatsache, dass dem Basalt selten Gesteine von anderer Zusammensetzung gefolgt sind, in ähnlicher Weise, wie dies bei den Andesiten in so allgemeiner Weise der Fall war.*)

Was nun die langen Zeiträume zwischen der granitischen und der vulkanischen Aera betrifft, so gewähren sie das Bild eines allmählichen Ueberganges von der Erscheinungsform in dem ersten Theil der paläozoischen zu der in der Tertiärzeit. Wir mögen die früheren Perioden dieses Zeitraums, in denen allein Ausbrüche von Belang vorgekommen sind, als die porphyrische Aera zusammenfassen, da die porphyrischen Gesteine ganz allgemein derselben ausschliesslich anzugehören scheinen. Das Massenverhältniss der Gesteine der einzelnen Ordnungen in Beziehung auf ihren Kieselsäuregehalt entspricht der angedeuteten Mittelstellung, da Quarzporphyr, Porphyrit und Melaphyr die leitenden Gesteine sind, und Porphyrit häufig die Ausbrüche eröffnet hat. Auch in geographischer Beziehung, betreffs der Ausdehnung und Vertheilung der Eruptionsgebiete, bieten die Porphyre eine Mittelstellung. Gewöhnlich sind die Ausbrüche an die Nachbarschaft der innerhalb jedes Eruptionsgebietes auftretenden Granite gebunden. Die Quarzporphyre erscheinen in der That wie Nachläufer des Granits, einer späteren Zeit an-

*) Vielleicht stehen Phonolithe in einer ähnlichen Beziehung als Trabanten zum Basalt, wie Trachyt und Rhyolith zum Andesit.

gehörig, in der die Abkühlung vorgeschritten war. Denn ihre Textur lässt darauf schliessen, dass die Quarzkrystalle zur Zeit der Eruption fertig gebildet in der flüssigen Masse eingebettet waren.

Es finden sich Ausnahmserscheinungen von dieser regelmässigen Entwicklung, besonders in Beziehung auf die Textur, und zwar sind sie fast ausschliesslich der porphyrischen Aera eigen. In der vulkanischen Aera bietet nur der Propylit das Beispiel einer Wiederkehr der Eigenschaften eines alten Gesteins in grossem Maassstab. Mit dieser Ausnahme sind die vulkanischen Gesteine eigenartig. Selbst die basischen Glieder, die sich bei den drei Reihen am ähnlichsten sind, finden sich gewöhnlich wohl charakterisirt und sind bei aufmerksamer Beobachtung fast nie mit älteren Gesteinen zu verwechseln. In der granitischen Aera, wenn wir ihre Hauptphase mit dem Ende der devonischen Periode abschliessen, finden sich keine bestimmt nachgewiesenen Spuren des Vorkommens von Gesteinen mit den äusseren Eigenschaften derjenigen der porphyrischen und vulkanischen Classen. In der porphyrischen Aera aber sind Ausnahmserscheinungen nicht selten, insofern zuweilen Gesteine mit granitischer Textur auftreten, die allerdings meistens ganz untergeordnet sind, wie zum Beispiel die den Porphyren Südtirols engverbundenen Granite und Syenite von Predazzo und dem Monzoni.

Die bedeutendste Ausnahmserscheinung ist das Wiederauftreten von Granit in den Anden von Nordamerika während der Juraperiode. Das Auffallende besteht jedoch wesentlich in der granitischen Textur der Gesteine. Ihren mineralischen Eigenschaften nach sind sie hornblendereiche Syenitgranite, die wahrscheinlich einen mässigen Kieselsäuregehalt besitzen. Granite kommen nur ganz untergeordnet in der Gipfelreihe vor. Als Eruptionsgebiet steht die granitische Region der Anden an Einheit und Ausdehnung den porphyrischen Gebieten von Europa voran, bleibt aber hinter den vulkanischen Eruptionszonen zurück. In dieser Beziehung also weicht es von den angegebenen Gesetzen planetarischer Entwicklung nicht ab. *)

*) Das Vorkommen einer so grossartigen Ausnahmserscheinung weist darauf hin, dass trotz der Gleichartigkeit der Hauptphasen über die ganze Erde doch die Entwicklung des Vulcanismus in einzelnen Thei-

2. Ursprung der vulkanischen Thätigkeit.

Vulkanische Thätigkeit ist den Massenausbrüchen in dreifacher Weise innig verbunden: in Hinsicht auf die Beschaffen-

len der Erdrinde Verschiedenheiten darbietet. So lange indess die Grundbedingungen der Texturformen unbekannt sind, ist es nutzlos, eine Erklärung der Unterschiede zu versuchen. Das Hinaufrücken der Chthonisothermen in einzelnen Gegenden, wo sie vorher schon bedeutend zurückgewichen waren, mag dasselbe durch vermehrte Auflagerung von Sedimenten oder durch Ergänzung von Wärme vermittelt Compression bei metamorphischen Vorgängen oder durch andere Ursachen herbeigeführt werden, würde erstarrte Massen wieder in einen zähflüssigen Aggregatzustand überführen und zu einer Wiederholung früherer Vorgänge Anlass geben können in der Art, wie wir es in den Anden beobachten. Die drei Aeras der granitischen, porphyrischen und vulkanischen Eruptionen lassen sich in Nordamerika in Beziehung auf die räumliche Entwicklung der Eruptionsgebiete und wahrscheinlich auch in Beziehung auf die Zusammensetzung der ausgeworfenen Massen wiedererkennen, und es finden keine wesentlichen Verschiedenheiten betreffs der vulkanischen, sowie wahrscheinlich wenige betreffs der granitischen Aera statt; aber in der Zwischenzeit waren nicht nur die Ausbruchszeiten, sondern auch die Textur der erstarrten Gesteine von den in Europa beobachteten verschieden.

Die hier gegebene Darstellung der Ereignisse in der vulkanischen Aera weist auf eine Zweitheilung der letzteren hin, indem der ersten Hälfte die Propylite und Andesite nebst den Ausbrüchen der den letzteren accessorischen Trachyte und Rhyolithe, der zweiten die Basalte und Phonolithe angehören würden. Es scheint jedoch, dass das periodische Vorschreiten der Aufspaltungen nach der Tiefe in der vulkanischen Aera häufiger geschehen ist und dass man drei Hauptepochen: 1) die des Propylits (mit Dacit), 2) die des Andesits (mit Trachyt und Rhyolith) und 3) die des Basalts (mit Phonolith) zu unterscheiden haben wird. Darauf deuten insbesondere die Beobachtungen von G. STACHE über den Propylit („Grünsteintrachyt“ und „Dacit“) in Siebenbürgen hin, wonach den basischeren Propyliten saurere folgten und dann erst die Andesite ausbrachen. Die Absonderung einer besonderen Epoche der Propylite wird durch ihre Eigenartigkeit in allen Gegenden sowie durch die Thatsache unterstützt, dass sie in jeder Gegend einer besonderen Zeit angehören, in der die eruptive Thätigkeit sich verhältnissmässig ohne Begleiterscheinungen geäussert zu haben scheint. Sie dürften mit dem Anfang einer Spaltenbildung zusammenhängen, die erst allmählig die Bedeutung erlangte, welche sie offenbar in der Epoche der Andesite besass, da erst die grossartigsten Erscheinungen der vulkanischen Aera ihren Anfang nahmen. Es ist überhaupt wohl zu erwarten, dass man abweichende Modificationen im Gang der Ereignisse in verschiedenen Gegenden finden wird, und dass auch die hier angenommenen allgemeineren

heit der ausgeworfenen Gesteine, auf die Zeit ihrer Eröffnung und auf ihre geographische Verbreitung. Basaltvulkane finden sich in Zügen basaltischer Massenausbrüche oder in ihrer unmittelbaren Nachbarschaft, Andesitvulkane sind ebenso den massenhaften Anhäufungen von Andesit verbunden, und die Trachyt- und Rhyolith-Vulkane münden in der Nähe der Orte, wo ihnen die Masseneruptionen dieser Gesteine selbst oder diejenigen des Andesits einen Weg gebahnt hatten.*)

Eine bestimmte Scheidelinie zwischen den Erscheinungsformen der Massenausbrüche und vulkanischen Thätigkeit lässt sich nicht ziehen, und es lassen sich in den Monumenten der grossartigen vulkanischen Thätigkeit der Vergangenheit Uebergangsstufen zwischen beiden nachweisen. Gewöhnlich aber lässt die Geotektonik einer Anhäufung vulkanischer Gesteine erkennen, welcher von beiden Formen sie angehört. Vulkane sind mit einem Auswurfscanal versehen, der den Sitz ihrer Thätigkeit mit der Oberfläche verbindet. Das von ihnen ausgeworfene Material besteht theils aus geschichteten Lagen von

Vorgänge nicht überall genau die gleichen gewesen sein werden. Doch bleibt der Parallelismus der Erscheinungen in zwei so entfernten Gegenden wie Ungarn und Californien eine Thatsache, die uns mit Bewunderung für das Walten gleichartiger Vorgänge in den verschiedensten Theilen der Erdrinde erfüllen muss.

*) Es ist vielleicht dieser Verwandtschaft und räumlichen Verbindung zuzuschreiben, dass der Unterschied der beiden Thätigkeitsäusserungen gewöhnlich nicht berücksichtigt worden ist, und man versucht hat, beiderlei Erscheinungen von gleichen Vorgängen herzuleiten. Es ist in scharfsinniger Weise dargestellt und als Doctrin aufgestellt worden, dass alle vulkanischen Gesteine in derselben Weise und durch dieselben Vorgänge ausgeworfen worden sind wie Lava aus Vulkanen, und dass die Länge der geologischen Zeit eine hinreichende Erklärung abgibt, wie mächtige Gebirge durch die Aufeinanderschichtung unzähliger Lavaströme aufgebaut werden konnten. Wo die alten Kratere nicht sichtbar waren, gab die leichte Zerstorbarkeit ihres Materials ein einfaches und scheinbar gerechtfertigtes Argument für ihre Abwesenheit. Diese Ansicht hat sich um so leichter Eingang und eine allgemeine Anwendung auf die Eruptivgesteine früherer Zeiten verschafft, als sie einen Beleg für die Doctrin zu geben schien, dass alle Vorgänge, welche früher auf der Erdoberfläche stattgefunden haben, in Hinsicht auf ihre Art wie auf ihre Intensität nach denen bemessen werden müssen, welche in der Jetztzeit beobachtet werden. Die Einwände gegen diese Doctrin waren der Gegenstand einer anderen Anmerkung. Sie werden durch den Unterschied zwischen Massenausbrüchen und vulkanischer Thätigkeit bestärkt.

Asche und Rapilli, die den Krater selbst aufbauen, theils aus Lavaströmen, welche, wo immer ihre Ausbruchsöffnung sein mag, in nahezu radialer Richtung vom Centrum ausstrahlen und über einander gelagert sind. Am häufigsten ist der Wechsel von beiden Arten von Material. Das Vorwalten einer geringen Neigung aller Flächen, welche ungleiche Substanzen trennen oder successive Ablagerung gleicher Stoffe anzeigen, Homogenität des Materials in Richtungen parallel zu diesen Flächen, eine Structur endlich der Gebirgsmasse, welche sich durch die strahlenförmige Ausbreitung der morphologischen wie der geognostischen Elemente der Gebirgsmasse von einem gemeinsamen Centrum auszeichnet — dies sind die Merkmale, durch welche auch erloschene Vulkane oder Fragmente von ihnen unfehlbar erkannt werden können. Das Centrum mag seine Stellung ändern oder sie früher geändert haben, oder es mögen mehrere Centren in geringen Unterbrechungen reihenförmig angeordnet sein, der wahre Charakter des vulkanischen Aufbaus wird sich doch erkennen lassen. Wo vulkanische Gesteine durch Massenausbrüche an die Oberfläche gelangt sind, besitzen sie ganz andere Merkmale. Sie treten in Zügen auf, in denen die Länge bedeutend über die Breite vorwiegt, und anstatt eines oder mehrerer Mittelpunkte lässt sich eine Mittellinie erkennen, von der aus alle Elemente im inneren und äusseren Bau ihren Ursprung nehmen. Im inneren Bau lässt sich ein gewisser massiger Charakter der Gesteine erkennen, der theils durch das Vorherrschen der dichteren Abänderungen und theils durch den Umstand herbeigeführt wird, dass Homogenität des Materials sehr ausgedehnt in verticaler Richtung vorwaltet. In den Durchschnitten solcher Gebirgszüge sieht man oft Gesteinsmassen, welche in einem verticalen Abstand von Tausenden von Fussen den gleichen petrographischen Charakter haben und keinerlei horizontale Structur besitzen. Untersucht man die Abhänge derselben Züge, so kann man Gleichheit des Gesteinscharakters wesentlich in ihrer Längsrichtung verfolgen, während derselbe grösseren Aenderungen unterworfen zu sein pflegt, wenn man von der Axe nach dem Fusse geht. Die Begrenzungsflächen ungleicher Gesteine sind unter allen Winkeln geneigt und sind oft steil und beinahe senkrecht. Selbst die Breccien sind in dieser Weise gegen die benachbarten compacten Gesteine abgegrenzt und bilden unregelmässige Massen,

nicht Schichten oder Ströme wie in den Fällen, wo sie das Product vulkanischer Thätigkeit sind. Die durch Masseneruptionen aufgebauten Ketten haben selbst keine Kratere, wiewohl sie häufig als Grundlage für vulkanische Kegel dienen. Noch öfter finden sich Vulkane entlang ihren unteren Gehängen oder an ihren Enden, oder sie sind in Reihen angeordnet, welche der Axe der Hauptkette parallel sind, und übertreffen häufig die letztere an Höhe.

Trotz dieser Unterscheidungsmerkmale giebt es nicht allein Uebergangsstufen zwischen den beiden Formen der Anhäufung des eruptiven Materials, sondern es wird auch unter gewissen Umständen eine Aehnlichkeit in deren Erscheinung herbeigeführt, welche es zuweilen schwierig macht zu entscheiden, was die Entstehungsart irgend einer Anhäufung vulkanischer Gesteine gewesen ist. Zunächst mag bei dem Ausströmen aus Spalten das Material so dünnflüssig gewesen sein, dass es sich in langgedehnten Strömen oder in flachen Lagen ausbreitete. Dies ist offenbar bei Basalt sehr häufig der Fall gewesen. Bei grossen Anhäufungen desselben, seien sie durch Massenausbrüche oder Vulkane entstanden, lässt sich oft der Unterschied, den die Arten der Eruption in der äusseren und inneren Structur hervorbringen, nicht mehr erkennen. Man findet häufig ausgedehnte Basalttafeln von sehr jugendlicher Entstehung, in deren Umgebung keine Spur eines Kraters zu sehen ist, selbst wenn Denudation nur in sehr geringem Maassstab stattgefunden hat. In Gegenden wie Oregon oder Ostindien sind Basaltplatten mit fast horizontaler Lagerung in einer Mächtigkeit von Tausenden von Fussen über einander geschichtet und erstrecken sich über Hunderte, ja über Tausende von Quadratmeilen. Nach dem Wenigen, was über diese Gegenden bekannt ist, darf man annehmen, dass die Hauptmasse des Basalts in ihnen nicht ein Erzeugniss vulkanischer Thätigkeit ist. Andererseits aber lehren die durch DANA so meisterhaft beschriebenen Verhältnisse auf den Sandwichs-Inseln, dass der Basalt, selbst wenn er auf den engen Raum eines vulkanischen Kraters beschränkt ist, vermöge seiner Dünneflüssigkeit die Wasserdämpfe in ruhigem Aufkochen entweichen lässt und bei seinem periodischen Ausbrechen die Umgebungen des Kraters mit dünnen Lavabänken überzieht. Dieses basische Gemenge ist nicht nur leichter schmelzbar als die kieselsäurereicheren

Silicate; sondern es scheint, dass auch die Beimengung überhitzten Wassers seine Dünflüssigkeit in höherem Grade vermehrt, als bei jenen der Fall. Einen noch grösseren Einfluss aber müssen jene unbekanntes Agentien ausüben, welche die Veranlassung geben, dass die Masse mit den besonderen Eigenschaften des Basalts erstarrt, da doleritische, leucitophyrische und trachydoleritische Laven, die mit Basalt theils gleiche und theils ähnliche Zusammensetzung haben, nie so dünnflüssig sind und im Gegentheil meistens sehr zähe Massen bilden. Doch lässt die Thatsache, dass basaltische Aschenkegel vorkommen, und dass dasselbe Gestein zuweilen massig und ohne erkennbare Horizontalstructur auftritt, darauf schliessen, dass auch bei Basalt die Structur verschieden sein kann, wenn er seine Entstehung verschiedenen Vorgängen verdankt. Andere Beispiele eines Zwischenzustandes der Structur geben die Andesitgebirge in Ungarn, an deren Flanken und Enden Rhyolith und Andesit in Strömen aus Spalten hervorgequollen sind, ohne von Vulkanen abhängig zu sein. Endlich mögen noch jene Fälle Erwähnung finden, wo Massenausbrüche unter Wasserbedeckung stattgefunden haben, und feinerdige Sedimentärtuffe mit groben Eruptivtuffen wechseln, und zuweilen dieselben massigen Gesteine, aus deren Bruchstücken jene bestehen, in Lagern eingeschaltet sind. Solche Ablagerungen sind oft denen der submarinen Vulkane sehr ähnlich.

Die Hauptunterschiede zwischen Massenausbrüchen und vulkanischer Thätigkeit beruhen einerseits in dem Umstand, dass erstere auf bestimmte Epochen beschränkt gewesen sind, während die vulkanische Thätigkeit durch lange Perioden fort-dauerte, andererseits in der verschiedenen Tiefe der Quelle ihres Materials unter der Erdoberfläche; von dem letzteren Umstand hängen wahrscheinlich alle kleineren Unterschiede ab. Die Massenausbrüche erhielten ihr Material, wie ich als wahrscheinlich zu beweisen suchte, aus einer sehr grossen Tiefe. Die Entfernung des Sitzes der vulkanischen Thätigkeit von der Oberfläche scheint zwar innerhalb weiter Grenzen zu schwanken, aber im Allgemeinen weit geringer zu sein; wiewohl einige Umstände darauf hindeuten, dass er in allen Fällen unterhalb der tiefsten Sedimentgesteine ist. Die Vulkane können nach ihrem Vorkommen, wie bereits PREVOST, DANA, SCROPE, HOPKINS und Andere zu beweisen gesucht haben, mit

dem Erdinneren nicht im Zusammenhang stehen und sind nicht als Sicherheitsventile zu betrachten. Die geringe Tiefe ihres Heerdes wird beinahe zur Gewissheit, wenn man die Kleinheit der Erschütterungskreise der mit ihrer Thätigkeit verbundenen Erdbeben mit der grossen Ausdehnung anderer vergleicht, welche die Folge von Vorgängen in sehr bedeutender Tiefe sein müssen und einen Zusammenhang mit irgend einem besonderen vulkanischen Schlund nicht erkennen lassen. Sie wird noch wahrscheinlicher, wenn man in Betracht zieht, dass benachbarte Vulkane nicht nur gleichzeitig verschiedenartige Laven auswerfen, sondern auch in gewissem Grade unabhängig von einander in ihren Thätigkeitsäusserungen sind.

Weitere Schlüsse über den Ursprung der vulkanischen Thätigkeit lassen sich auf die folgenden Thatsachen gründen: 1) Mehrfache Thatsachen deuten darauf hin, dass der Sitz des grössten Theils der vulkanischen Thätigkeit in verhältnissmässig geringer Tiefe ist; 2) alle erloschenen und thätigen Vulkane sind Massenausbrüchen innig verbunden; 3) diese Verbindung ist derartig, dass jeder Vulkan zeitlich wie räumlich mit Massenausbrüchen entweder solcher Gesteine zusammenhängt, mit welchen die Laven wenigstens der ersten Epoche seiner Thätigkeit nahe verwandt oder identisch sind, oder solche, welche nach dem Gesetz der Reihenfolge der Massenausbrüche demselben Gestein unmittelbar vorhergegangen sein würden; das heisst trachytische und rhyolithische Vulkane entstanden oft dort, wo nur Andesit vorher vorhanden war, und basaltische, wo Andesit oder Trachyt abgelagert waren; aber nie findet das Umgekehrte statt; keinem basaltischen Vulkan zum Beispiel folgten in seiner Umgebung Massenausbrüche von Trachyt und Andesit; 4) viele von denjenigen Vulkanen, deren Thätigkeit durch lange Zeiträume fortgesetzt hat, haben in Hinsicht auf den Charakter ihrer Laven von Zeit zu Zeit eine Aenderung erfahren, und die in diesem periodischen Wechsel erkennbare Reihenfolge der ausgeworfenen Gesteine ist analog derjenigen der Massenausbrüche vulkanischer Gesteine, wiewohl Ausnahmen von dem Gesetz bei Laven nicht selten vorkommen.

Aus diesen Thatsachen ergibt sich zunächst der Schluss, dass Vulkane von Massenausbrüchen vollkommen abhängig sind. Der äussere Unterschied zwischen den Erscheinungen, welche beiden verbunden sind, scheint einem Vorgang zu ent-

sprechen, wodurch isolirte Verbindungscanäle zwischen tiefen und noch mit geschmolzenen Massen angefüllten Theilen der Spalten und der Erdoberfläche sich aus der continuirlichen Spaltenöffnung entwickelten. Es ist bemerkt worden, dass Aschenausbrüche in der Regel die letzte Phase der vulkanischen Thätigkeit bezeichnen. Wir können einen Schritt weiter zurückgehen und sagen, dass vulkanische Thätigkeit die letzte Phase der Massenausbrüche ist.

Um eine Vorstellung von dem Uebergang von der einen in die andere Form der Thätigkeit zu erhalten, setzen wir voraus, dass eine Spalte von unten ausgefüllt sei, und die durch lange Zeiträume emporgedruckenen Gesteine allmählig zu Gebirgen über ihr aufgethürmt seien. Sobald der Ausfluss unterbrochen wird, muss die Erstarrung der in der Spalte enthaltenen Masse von oben nach unten fortschreiten, unabhängig von der Frage, ob sie nicht gleichzeitig in Folge des Druckes von unten nach oben vor sich gehen würde. Der Fortschritt der Erstarrung muss wegen der wechselnden Weite der Spalte in ungleichem Maasse geschehen. Wir erhalten dadurch die erste Ursache für die Isolirung von Heerden fortgesetzter Thätigkeit; denn wenn die Erstarrung in den Verengerungen der Spalte bereits vollendet ist, werden ihre Erweiterungen noch mit flüssiger Masse angefüllt sein, die einer neuen Volumenvermehrung durch Hinzutreten anderer Umstände fähig ist. Eine zweite Ursache, welche dieselbe Wirkung hervorbringen würde, ist die örtliche Abschliessung des Wasserzutrittes. Einige von seinen Zuführungscanälen würden wahrscheinlich verstopft werden, und das Maass der Bildung neuer an ihrer Stelle würde wahrscheinlich in ungefähr gleichem Maasse mit der Gesamtsumme der der Auswurfsthätigkeit in ihren verschiedenen Stadien verbundenen Vorgänge abnehmen. Da der Wasserzufluss, sei er beständig oder unterbrochen, nächst einer hohen Temperatur die Hauptbedingung zur Unterhaltung vulkanischer Thätigkeit zu sein scheint, so wird seine Isolirung auf einzelne Stellen einer Spalte die Folge haben, die heisse Masse an denselben länger in flüssigem Zustand zu erhalten als in anderen Theilen derselben Spalte. Träfe der isolirte Wasserzufluss auf eine Erweiterung der Spalte, in der die hohe Temperatur länger erhalten bleibt als in der Umgebung, so würden beide genannte Ursachen zur Isolirung eines Heerdes fernerer

Thätigkeit zusammenwirken. Die Verbindung einer solchen Stelle mit der Oberfläche würde wahrscheinlich fortdauernd offen gehalten werden, indem die flüssige Spaltenausfüllung durch fortschreitende Erstarrung zu einem Ausflusscanal von geringer Ausdehnung und schliesslich zu dem engen Verbindungscanal mit einem Krater an seiner Mündung verwandelt werden würde. Hemmungen des Ausflusses durch Erstarrung würden häufiger vorkommen, und so allmählig die Erscheinung eines Massenausbruchs in die eines Vulkans verwandelt werden.

Dieses hypothetische Beispiel giebt wahrscheinlich den einfachsten Weg der Entstehung von Vulkanen an. Es findet besonders für diejenigen Anwendung, welche hinsichtlich des Charakters ihrer Laven keine Aenderung erfahren haben und oft erhabene Kegel über Berggrücken bilden, welche aus den gleichen Gesteinen bestehen, aber durch die vorhergegangenen Massenausbrüche entstanden sind. Wir haben nun eine dritte Ursache der Entstehung vulkanischer Thätigkeit zu betrachten. Sie ist durch den Parallelismus der Vulkanreihen unter sich und mit den Hauptspalten angezeigt. Diese Erscheinung kann nur durch die in der Tiefe stattfindende Abzweigung secundärer Spalten von den letzteren erklärt werden. Ihre Bildung setzt das Vorhandensein eines Widerstandes in der Hauptspalte voraus, wie sie durch die Erstarrung der in ihr eingeschlossenen Masse ohne Offenhaltung eines Verbindungsweges der noch flüssigen Theile in grosser Tiefe mit der Oberfläche verursacht werden würde. Dieser Vorgang setzt eine Unterbrechung des Aufsteigens der Massen voraus. Dass eine solche stattfinden konnte, ist leicht einzusehen, wenn man in Betracht zieht, dass die flüssigen Massen in der Spalte eine fortdauernde Contraction durch Wärmeverlust erleiden mussten, und dass jede durch das Eindringen von Wasser an einzelnen Orten verursachte Volumenvermehrung erst diese allgemeine Verminderung des Volumens ausgleichen musste, ehe sie sich in einem Aufsteigen der ganzen Masse kundgeben konnte. Dieser zweifache Vorgang, welcher wahrscheinlich auch eine der Hauptursachen des intermittirenden Charakters vulkanischer Thätigkeit ist, musste in der Spalte ein abwechselndes Auf- und Absteigen der flüssigen Massen hervorbringen, und es würde während ihres Rückzuges hinreichende Gelegenheit für das

Fortschreiten der Erstarrung von oben bis zur erheblichen Tiefe gegeben gewesen sein.

Wenn hierauf durch gewaltsame Störungen ein Wechsel in den unterirdischen Zuständen in der Nähe der Spalte eintrat, und Ausdehnung in derselben wieder vorzuwalten begann, so musste sich die Spannkraft in den flüssigen Theilen fortpflanzen und konnte erst an deren oberen Grenzen, als an der Stelle des geringsten Widerstandes, in äussere Arbeit verwandelt werden und neue Aufspaltungen hervorbringen, die sich in dieser Tiefe von der Hauptspalte nach der Oberfläche abzweigen würden. Diese secundären Spalten würden in ihrer Richtung theils jener parallel, theils im rechten Winkel gegen sie gerichtet sein. Die flüssige Substanz würde in ihnen emporgetrieben werden und entweder erst zur Bildung paralleler Anhäufungen durch Massenausbrüche und dann erst zu ihrer Differenzirung zu Vulkanen Anlass geben; oder sie würde, wenn die Aufspaltung nur in einer Reihe kleinerer Risse geschah, sich sofort in der Entstehung von Vulkanen kundgeben. Die eruptive Thätigkeit konnte in ihnen noch lange fort dauern, nachdem sie in der Hauptspalte erloschen war, und selbst nachdem die Erstarrung in ihr (mit Ausschluss der Heerde vulkanischer Thätigkeit) in weit grössere Tiefe vorgerückt war. Die Bildung secundärer Spalten konnte sich in verschiedenen Tiefen wiederholen, und andere, einer dritten Ordnung angehörige, mochten sich von jenen abzweigen. Es würden sich dadurch unterirdische Anhäufungen flüssiger Massen in verschiedenen Entfernungen unter der Oberfläche bilden mit ähnlicher geregelter Anordnung in der Tiefe, als wir in der Vertheilung erloschener und thätiger Vulkane an der Oberfläche sehen. Die Wahrscheinlichkeit der Theorie solcher „unterirdischer Seen“, wie sie genannt worden sind, wird dadurch erhöht, dass ihre Annahme allerdings in einer sehr verschiedenen Auffassung auch durch Schlussfolgerung von ganz anderen Gesichtspunkten aus als nothwendig erwiesen worden ist. Allein nur wenn die Natur und Vertheilung dieser Heerde vulkanischer Thätigkeit, wie wir es hier versucht haben, von grossartigeren Vorgängen abhängig gemacht wird, welche mit dem flüssigen Erdinneren und planetarischer Entwicklung in Verbindung stehen, kann man die Harmonie erklären, welche in den Erscheinungen einer jeden vulkanischen Gegend oder zwi-

schen denen verschiedener Gegenden obwaltet. Nur dann können wir eine Erklärung dafür finden, warum zum Beispiel Basaltvulkane nur in den Zügen basaltischer Masseneruptionen oder auf von ihnen abhängigen Spalten auftreten, und ihre Thätigkeit erst in der basaltischen Epoche begann, nach deren Abschluss ihre grösste Intensität erreichte und sich dann durch weitere Perioden nach und nach abschwächte, meist bis zu völligem Erlöschen, und warum ein ähnliches Verhältniss bei Vulkanen anderer Ordnungen stattfindet. Auch lassen sich durch sie leicht jene Abweichungen von der normalen Zusammensetzung erklären, welche bei Laven häufig, wiewohl stets in beschränkter Ausdehnung, beobachtet worden sind. Denn es muss, durch die hohe Temperatur der flüssigen Massen und durch die Mitwirkung von Wasser und Druck, ein ausgehnter Metamorphismus und häufig eine Umschmelzung des dem Heerd der vulkanischen Thätigkeit benachbarten Gesteins eintreten und die Zusammensetzung eines Theils der Laven beeinflussen.

Die beste Erläuterung der hier dargestellten Theorie des Zusammenhanges zwischen Massenausbrüchen und einem grossen Theil der vulkanischen Thätigkeit wird durch eine Erscheinung geboten, welche an den grösseren unter den thätigen Vulkanen selbst vorkommt. Es ist bekannt, dass den Flanken derselben, ausserhalb des Hauptkraters, oft eine Anzahl kleinerer Kegel schmarotzerhaft aufsitzen. Jeder von ihnen ist aus Asche und Rapilli aufgebaut, hat seinen Krater auf dem Gipfel eingesenkt, entsendet zuweilen einen Lavastrom und bietet in jeder Beziehung das Ebenbild des Muttervulkans im Kleinen dar. Man sucht die Erscheinung durch die Annahme zu erklären, dass Wasser mit noch glühenden Lavamassen im Inneren des Berges zusammenkommt und nach längerer Einwirkung, welche eine fortdauernd wachsende Spannung verursacht, die Berstung der bedeckenden Gesteinsmassen und durch die so gebildete Spalte die Wiederholung desselben Schauspiels im Kleinen veranlasst, das der Vulkan bei seinen vorhergehenden Ausbrüchen bot. Wie diese kleinen Schmarotzervulkane in den glühenden Lavamassen wurzeln, so erweisen sich die Vulkane überhaupt durch die Art ihres Vorkommens als Schmarotzer auf den noch nicht erkalteten und durch die molekulare Aufnahme von Wasser flüssig erhaltenen Theilen des Materials vorangegan-

gener Massenausbrüche. Diese Entstehungsart der Vulkane aber ist selbst wiederum im kleinen Maassstabe die Wiederholung der Art, in welcher Massenausbrüche entstanden sind, insofern Vulkane ein ähnliches Verhältniss zu diesen haben wie diese zu den primitiven Massen, welche den Erdball zusammensetzen, und zu denen die Hauptspalten der vulkanischen Zonen hinabreichen. Diese Hauptspalten bilden die grossen Arterien in diesem harmonischen System von einander abhängiger Erscheinungen. Ihr gemeinsamer Ursprung erklärt die Wiederkehr ähnlicher Erscheinungen, welche wir bei der Betrachtung verschiedener vulkanischer Zonen wahrnehmen; während die verschiedene und gewiss in den meisten Fällen sehr complicirte Art ihrer Verzweigungen gegen die Erdoberfläche, die Natur der durchsetzten Gesteine, die wechselnde Menge und örtliche Veränderung des Wasserzuflusses, die Umstände, welche die Tiefe bestimmen, in der die Spannkraft der Wasserdämpfe zur Wirkung kommen kann, das Verhältniss, in welchem solche Stoffe wie Fluor, Chlor und Schwefel zugegen sind, und andere unbekannte Einflüsse hinreichend sind, um die Mannichfaltigkeit der Erscheinungen des Vulkanismus in jeder einzelnen vulkanischen Zone zu erklären. Dazu gehören: die anscheinend verworrene und doch nach gewissen Gesetzen geregelte Art der Vertheilung der ausgeworfenen Gesteine, die Wechselbeziehungen der letzteren in Hinsicht auf ihre Zusammensetzung und Textur, das Vorhandensein einer bestimmten Reihenfolge in ihren Ausbrüchen, die Abhängigkeit der vulkanischen Thätigkeit von Massenausbrüchen, die verschiedene Art der Ablagerung des ausgeworfenen Materials, die Art der Verbreitung von heissen Quellen, Solfataren, Geysern und anderen pseudovulkanischen Erscheinungen, der Bereich der mit den Erdbeben verbundenen Vorgänge, die eigenthümlichen Wechselbeziehungen endlich, welche zwischen den auf demselben Zuge gelegenen vulkanischen Schlünden beobachtet worden sind. Was jedoch die gegenseitigen Beziehungen von Vulkanen betrifft, die in verschiedenen Zonen gelegen sind, so sind in dieser Hinsicht Thatfachen beobachtet worden, welche einer Erklärung noch vollständig ermangeln.*)

*) Einen Beitrag von hohem Werth zur Erläuterung dieser That-
sachen hat Dr. EMIL KLUGE in seinem Werk: Ueber den Synchronismus
Zeits. d. D. geol. Ges. XXI. 1.

Die vorhergehenden Betrachtungen geben eine einfache Erklärung der wahrscheinlichsten Entstehungsweise derjenigen Vulkane, welche hinsichtlich des Charakters ihrer Laven keine Aenderung erfahren haben. Wir haben nun noch jene verwickelteren Fälle zu betrachten, in denen derselbe in bestimmten Epochen gewechselt hat. Es giebt Vulkane, deren verschiedene Thätigkeitsphasen durch die regelmässige Aufeinanderfolge von andesitischen, trachytischen und rhyolithischen Laven charakterisirt waren, während schliesslich noch Basalt aus demselben Schlund oder in dessen Nachbarschaft ausgeworfen wurde. Bei anderen Vulcanen ist nur ein Theil dieser Reihenfolge vertreten, indem nur Trachyt, Rhyolith, Basalt, oder nur Andesit und Rhyolith vertreten sind. Da die Aufeinanderfolge der Gesteine dieselbe ist wie bei den Masseneruptionen, so liegt die Vermuthung nahe, dass sie in beiden Fällen denselben Ursachen zuzuschreiben ist. Wenn wir annehmen, dass jene Behältnisse mit flüssiger andesitischer Masse, von denen aus die Massenausbrüche desselben Gesteins in ihren späteren Stadien unterhalten oder Vulkane gespeist wurden, ihren Sitz in denjenigen Tiefen der Kruste hatten, welche in der Zusammensetzung den trachytischen und rhyolithischen Gesteinen entsprechen, so ergibt sich die Erklärung jener Aufeinanderfolge ungezwungen. Denn es muss eine Grenze der Volumenvermehrung geben, welche die gegebene Masse einer Substanz wie Andesit durch wässerige Schmelzung erfahren kann, und damit auch eine Grenze für ihre Ejection. Die eruptive Thätigkeit könnte dann entweder zur Ruhe kommen oder fortsetzen. Da es in hohem Grad unwahrscheinlich ist, dass Wasser an der Zusammensetzung der Massen theilnimmt, welche die Erstarrungsrinde der Erde unter der Schale der Sedimente bilden, so darf man annehmen, dass die Zuleitung von Wasser zu solchen Theilen der Kruste, welche einer mit flüssigen Substanzen von unten erfüllten Spalte und damit einer hohen

und Antagonismus von vulkanischen Eruptionen (Leipzig 1863) gegeben. Die Klarheit, mit der die Thatsachen vergleichend zusammengestellt sind, sichert dem Werk ein bleibendes Interesse, wenn wir auch von den darin entwickelten Ansichten über den Ursprung der vulkanischen Thätigkeit, bei denen die wichtigen Ergebnisse des Werkes gar keine Berücksichtigung finden, vollständig abweichen müssen.

Wärmequelle zunächst gelegen sind, eine mächtige Einwirkung auf sie haben muss. Es wird die krystallisirten Massen in den Zustand wässeriger Schmelzung überführen und ihr Volumen vermehren. Aber die den kieselsäurehaltigen Silicatgesteinen eigenthümliche Zähflüssigkeit würde ihre Eruption erst dann gestatten, wenn die leichtflüssigeren Massen von andesitischer Zusammensetzung ausgestossen wären. Nehmen wir an, dieser Vorgang an dem abgeschlossenen Heerd der Ausbruchsthätigkeit finde in der Tiefe der dem Trachyt entsprechenden Gemenge statt, so wird er sich an der Oberfläche durch die Aufeinanderfolge von Trachyt auf Andesit kundgeben, und es würden während des Anfangs der trachytischen Epoche noch immer einzelne Massen von Andesit mit empordringen. Würde die Ausbruchsthätigkeit von diesem Platz durch die Verstopfung der Wasserzuführungscanäle abgeschnitten, so könnte es geschehen, dass in höheren Theilen der nur mit flüssigem Trachyt erfüllten Spalte ein anderes in der rhyolithischen Region gelegenes Behältniss abgesondert werden würde. Die grössere Zähflüssigkeit des kieselsäurereichereren Gesteins würde einen ähnlichen Wechsel wie früher verursachen, und an der Oberfläche würden rhyolithische auf trachytische Gesteine folgen, wiewohl anfangs vielleicht noch vielfach alternirend. Was endlich die Folge von Basalt auf Rhyolith betrifft, so weisen wir auf die früher erwähnten Thatsachen hin, dass die Spalten, durch welche der erstere aufstieg, zu einer viel späteren Zeit gebildet wurden als die des Andesits und nur zum kleinen Theil mit diesen zusammenfallen. Da aber die mit flüssiger Substanz gefüllten und durch Canäle mit der Oberfläche verbundenen unterirdischen Behältnisse in vielen Fällen der Aufspaltung den Weg des geringsten Widerstandes angeben mussten, so ist zu erwarten, dass basaltische Masse, deren Düninflüssigkeit bekannt ist, in die Behältnisse gelangen würde. Von ihnen nach der Oberfläche würde sie entweder durch die schon vorhandenen Canäle oder durch neue Spalten ansteigen, während die zähflüssigen Gemenge in der Tiefe zurückbleiben würden. Es ist leicht zu verstehen, wie weiterhin Ausflüsse von Rhyolith mit solchen von Basalt wechseln konnten.*)

*) In diesem Falle würden in der That zwei benachbarte und doch

Diese theoretischen Vorgänge gelten in gleicher Weise für Massenausbrüche wie für vulkanische Thätigkeit. Dieselben können allerdings, in diesen Umrissen dargestellt, die mit beiden verbundenen verwickelten Erscheinungen nicht in allen Einzelheiten erklären. Aber sie zeigen, dass das Verständniss des Bleibenden und Gesetzmässigen in den Vorgängen des Vulcanismus keine gezwungenen Annahmen nothwendig macht. Jeder der hypothetischen Processe, welche diesen Betrachtungen zu Grunde gelegt sind, ist innerhalb des Bereiches derer, welche wir hinsichtlich desjenigen Theils der vulkanischen Thätigkeit, auf welchen ihre Erscheinungen unmittelbare Schlussfolgerungen gestatten, als wahrscheinlich annehmen müssen. Von der vergleichenden Kenntniss der Vulkane und der allgemeinen Erscheinungen der Ausbruchsthätigkeit auf der Erdoberfläche haben wir das Verständniss des inneren Zusammenhanges aller Aeusserungsformen des Vulkanismus zu erwarten.

3. Andere Theorien über den Ursprung der vulkanischen Gesteine und der Eruptivgesteine im Allgemeinen.

Die verschiedenen Theorien, welche über den Ursprung der vulkanischen und überhaupt aller massigen krystallinischen

geschiedene Heerde von Massen verschiedener Zusammensetzung bestehen, wie sie BUNSEN für Island angenommen hat, und wie sie auch in anderen vulkanischen Gegenden zu existiren scheinen, und es mögen Verschmelzungen vorkommen, die einen Einfluss auf die Zusammensetzung haben. Bei Massenausbrüchen fanden solche Verschmelzungen nur in sehr untergeordnetem Maasse statt, da bei ihnen schroffere Uebergänge die Regel sind. Man hat die Aufeinanderfolge verschiedener Ausbruchsgesteine aus derselben Spalte durch die Annahme eines Saigerungsprocesses zu erklären gesucht, und es haben sich einige der hervorragendsten Geologen (wie DARWIN und LYELL) dieser Erklärung angeschlossen. Es wird vorausgesetzt, dass in den flüssigen Massen in der Tiefe die schweren Bestandtheile zu Boden sinken, die leichteren nach oben gelangen. Diese müssten dann zuerst ausgeworfen werden, und die schwereren müssten folgen. Die Aufeinanderfolge von Rhyolith auf Trachyt und von Trachyt auf Andesit steht mit dieser Erklärungsweise im entschiedenen Widerspruch. Aber selbst die Folge von Basalt und Rhyolith bestätigt nicht die Annahme; denn die Aenderung in der Zusammensetzung der Masse von oben nach unten und damit in der der ausgeworfenen Gesteine müsste allmählig sein, und die Aufeinanderfolge von zwei so verschiedenen Gesteinen wie Rhyolith und Basalt könnte nicht erklärt werden.

Silicatgesteine, welche wir hier als Eruptivgesteine bezeichnen, aufgestellt worden sind, gehen nach verschiedenen Richtungen aus einander. Bei den meisten derselben bleibt die Gesamtheit der wesentlichen Erscheinungen, welche jene Gesteine bieten, insbesondere die Wechselbeziehungen in ihrer chemischen Zusammensetzung, ihre Wiederkehr mit ähnlichen Eigenschaften in verschiedenen Gegenden und verschiedenen Zeitaltern, die Gesetze ihrer Altersfolge und die Thatsache ihres periodischen Hervorbrechens nach langen Zeiträumen der Ruhe vollständig unbeachtet, und keine trägt ihnen allen Rechnung. Es lassen sich zwei Classen dieser Theorieen unterscheiden. Die erste umfasst diejenigen, welche den ursprünglichen Sitz der in Rede stehenden Gesteine in die Regionen der Erdrinde unterhalb der tiefsten Sedimentgebilde verlegen, während die zweite Classe diejenigen Theorieen begreift, welche die Quelle derselben Gesteine als in der äusseren Schale der Sedimente selbst gelegen annehmen. Der ersten Classe gehören die in den vorhergehenden Seiten entwickelten Deductionen an. Andere, derselben Classe angehörige Theorieen haben sich besonders in der Form Eingang verschafft, in welcher sie von BUCH, HUMBOLDT und anderen der hervorragendsten Geologen vertreten worden sind. Diese Form ist in verschiedenen Abänderungen bisher in der That die allein herrschende gewesen. Nach ihr wird angenommen, dass die Eruptivgesteine als auf trockenem Wege geschmolzene Massen ausgeworfen wurden, und als der Grund der Erscheinung gilt allein die Contraction des Erdkernes durch Wärmeverlust. Diese Form der Theorie bietet bei unserer mehr vorgeschrittenen Kenntniss der Natur der Ausbruchsgesteine die offenbaren und zum Theil oft hervorgehobenen Angriffspunkte: dass die Gesteine bei ihrer Eruption eine Temperatur besaßen, die zu ihrer trockenen Schmelzung nicht hinreichen würde; dass sie einen Wassergehalt besitzen, dem früher fast gar nicht Rechnung getragen wurde; dass der Ausbruch trocken geschmolzener Massen aus grosser Tiefe, insbesondere wenn man seinen Grund nur in Contraction sucht, eine Unmöglichkeit ist, und dass, wenn er möglich wäre, die Massen durch Erstarrung eine andere Textur hätten annehmen müssen, als wir zum Beispiel bei Granit, Diorit und Propylit beobachten; dass endlich, wie wir bereits bemerkten, Contraction der Erdmasse allein in keiner Weise die

für die Eruptionen nothwendigen Bedingungen zu geben vermag, wie auch die Annahme dieses Vorganges als einzige Folge der Abkühlung des Planeten auf mancherlei andere Schwierigkeiten stösst. Die erwähnte Theorie hat sich am längsten auf dem europäischen Continente gehalten und wird bekanntlich heute noch vielfach verfochten, ja selbst als Axiom angenommen. Obwohl sie der wahren Natur der Ausbruchserscheinungen wahrscheinlich näher kommt als irgend eine der noch zu erwähnenden Theorieen, so sind doch die Gründe gegen ihre Annahme vom jetzigen Stand der Wissenschaft so zahlreich und so offenbar, dass ein weiteres Eingehen darauf nicht nothwendig erscheint.

Noch zahlreichere und handgreiflichere Bedenken von rein geologischen Gesichtspunkten bieten sich gegen jene der zweiten Klasse angehörigen Theorieen, welche die Entstehung der massigen krystallinischen Silicatgesteine, mit Ausnahme der unter unseren Augen den Vulkanen entströmenden Laven, nur von dem Metamorphismus sedimentärer Gesteine in situ ableiten, indem sie entweder deren chemische Umwandlung an oder unter der Oberfläche vermittelt Wassers, das gewisse Substanzen in Lösung enthält, oder das Zusammenwirken von Wasser, Druck und Wärme in der Tiefe als die Agentien annehmen. Betrachtet man diese Theorieen bei dem Lichte derjenigen Beobachtungen, welche sich dem Geologen fortdauernd als Stützen des extrusiven und intrusiven Ursprungs jener Gesteine darbieten, und berücksichtigt man ausserdem die im Vorhergehenden erörterten Wechselbeziehungen, so müssen die Prämissen, auf denen diese Theorieen beruhen, überaus lückenhaft erscheinen.

Die offenbaren Gründe, durch welche sich die bisher genannten Lehren von selbst widerlegen, haben einer anderen Theorie mehr und mehr Eingang verschafft, die wir kurz als die metamorphische Theorie der Eruptivgesteine bezeichnen mögen, und die sich bis auf HUTTON zurückführen lässt. Sie hat ihre Vertheidiger grösstentheils in England und den Vereinigten Staaten, greift aber auch in Deutschland und Frankreich mehr und mehr um sich. Verdient sie schon aus diesem Grund eine eingehendere Berücksichtigung, so verlangt auch der Aufwand von Scharfsinn und Logik, der ihr zu Theil geworden ist, sowie die hochgestellten Namen derjenigen,

welche zu ihren geschicktesten Vertheidigern gehören, ganz besonders bündiger Argumente, um die Theorie entweder zu widerlegen oder den Grad ihrer Wahrscheinlichkeit zu schwächen. Die ursprüngliche Form der Theorie wurde von HUTTON vorgeschlagen, von BABBAGE, HERSCHEL und insbesondere von LYELL und dessen Schülern weiter ausgebildet. Sie trägt einem Theil der geologischen Beziehungen Rechnung, da sie wenigstens einige Ausbruchsgesteine als solche anerkennt. Da sie jedoch als ihren Ursprung die trockene Umschmelzung von Sedimentgesteinen annimmt, so mag sie, aus schon genannten Gründen, übergangen werden. Es bleibt dann jene neuere Form der metamorphischen Theorie übrig, wonach alle Eruptivgesteine, welche seit den ältesten Zeiten bis jetzt an die Oberfläche der Erde gelangt sind, nichts sind als Sedimente, welche durch die Anhäufung weiterer Ablagerungen über ihnen in grosse Tiefe unter der Erdoberfläche und dadurch an eine beständige Quelle der Wärme gelangt waren, wo sie mit Hülfe von Wasser und Druck eine Veränderung ihres Zustandes erlitten, die sich entweder auf Molekülwanderung beschränkt oder bis zur Hervorbringung eines „breiartigen“ Aggregatzustandes fortschritt. Im ersten Falle, nimmt man an, erlitten die Sedimente einfach eine Metamorphose, während sie im zweiten entweder mit gänzlichem Verlust ihrer ursprünglichen Structur in der Tiefe krystallisirten und „plutonische“, „hypogene“ oder „endogene“ Gesteine bildeten, oder durch Spalten ausgestossen wurden. In diesem Falle wiederum erstarrten sie entweder in den Zuführungscanälen als „Trapp“, oder sie gelangten an die Oberfläche als „Lava“ oder „exogene“ Gesteine. Der Grund der schnellen Verbreitung dieser Theorie ist, dass sie sich auf eine gewisse Anzahl beobachteter geologischer That-sachen und auf die Resultate von Experimenten stützt; dass sie den physikalischen Eigenschaften der Gesteine volle Rechnung trägt und wohl auch, dass sie das Feld der Deductionen nur in solche Tiefen verlegt, von deren natürlichen Bedingungen man seltsamer Weise glaubt eine klarere Vorstellung zu haben als von denen jener grösseren Tiefen unter allen Sedimentgebilden, deren Natur uns nur durch einen längeren Weg der Induction verständlich werden kann.

Es wird durch diese Theorie der metamorphischen und der eruptiven Thätigkeit ein gemeinsamer Ursprung zugeschrie-

ben. Die unermessliche Wirkung des Metamorphismus ist eine feststehende Thatsache. Allein, während in früherer Zeit eine sehr hohe Temperatur und überhaupt die kräftigsten Agentien als seine nothwendige Voraussetzung angesehen, und deshalb die Speculationen über seine Ausdehnung mit Vorsicht, wenn nicht mit Misstrauen angenommen wurden, ist dieses Verhältniss seit den glänzenden Versuchen DAUBRÉE's und den Beobachtungen SORBY's beinahe in's Gegentheil umgeschlagen. Sie haben bewiesen, dass die Wirkungen des Wassers unter hohem Druck, wenn sie lange fortdauern, auch bei einer verhältnissmässig niedrigen Temperatur Aenderungen hervorzubringen vermögen, welche die kühnsten Annahmen früherer Zeit in Schatten stellen. Die Folge ist, dass nun dem Metamorphismus beinahe unbegrenzte Wirkungen zugeschrieben werden. Die gewagtste unter allen ihn betreffenden Annahmen dürfte jedoch die Voraussetzung sein, dass er der Vermittler aller vulkanischen und selbst aller eruptiven Thätigkeit früherer Zeiten gewesen ist. Die Doctrin des Metamorphismus erklärt in befriedigender Weise die Entstehung krystallinischer oder porphyrischer Textur durch Molekülwanderung in Sedimentgesteinen. Sie macht es wahrscheinlich, dass seine Fortsetzung durch längere Zeit an Orten, wo gewisse, noch nicht genau bekannte Umstände zusammenwirken, selbst die Schmelzung von Gesteinen bei verhältnissmässig niedriger Temperatur zur Folge haben kann. Aber sie kann keine Erklärung weder für die Art des Ausbrechens, noch für die Eigenthümlichkeiten in der Natur der Eruptivgesteine geben. Ich will im Folgenden einige der Einwendungen entwickeln, welche sich gegen den metamorphischen Ursprung der Eruptivgesteine aufdrängen.

Der Ausgang der in Rede stehenden Theorie ist das Vor- und Rückschreiten der Chthonisothermen. Ihr Vorschreiten vom Mittelpunkt der Erde hinweg soll dort geschehen, wo Senkung stattfindet, und zum Theil der Entwicklung von Wärme durch die Zusammendrückung und Faltung von Schichten im tiefsten Theil der Senkungsmulden zuzuschreiben sein, zum Theil, und in weit allgemeinerer Weise, der Bedeckung der bestehenden Sedimente durch neue Ablagerungen. So wahrscheinlich derartige Wärmeströmungen sind, hat man sich doch veranlasst gesehen, die Senkung selbst ebenfalls durch die beständige Vermehrung des Gewichts mittelst der fort-

dauernden neuen Auflagerungen zu erklären (z. B. JAMES HALL und G. VOSE). Wie diese Fuss für Fuss an Mächtigkeit zunehmen, so soll die Senkung Fuss für Fuss fortschreiten. Die schliessliche Grenze eines solchen Vorgangs wird nicht angegeben, und für die Hebung wird gar keine genügende Erklärung gegeben. Die Widersprüche, die in der Annahme liegen, und ihre Unnatürlichkeit sind bereits von geschickter Hand dargethan worden. — Es wird dann weiter argumentirt, wie durch das Hinaufrücken der Chthonisothermen in einer gewissen, nicht bedeutenden Tiefe erst Metamorphismus, dann ein „breiartiger“ Zustand und schliesslich Ausbrüche verursacht werden würden, ohne dass ein Grund angegeben wird, warum nicht in grösserer Tiefe Alles in „breiartigem“ Zustand sein müsste. Alle Ausbruchsthätigkeit müsste nach dieser Ansicht in Senkungsfeldern stattfinden, und ebenso müssten sich die Vulkane auf deren Gebiete beschränken. Die Thatfachen sind dieser Annahme nicht günstig. Hinsichtlich der vulkanischen Gesteine wenigstens ist es offenbar, dass ihre Ausbrüche auf den weiten Senkungsfeldern fehlen; ihre Verbreitung beschränkt sich auf die gebirgigen Ränder der Senkungsfelder, auf Hochländer und im Allgemeinen auf solche Gegenden, in welchen vor und während der vulkanischen Aera Hebung vorwaltend gewesen ist.

Es drängt sich hinsichtlich der geographischen Verbreitung noch eine andere Betrachtung auf. Da nämlich die Versuche von DAUBRÉE die stärkste Stütze der metamorphischen Theorie sind und aus ihnen bei oberflächlicher Betrachtung hervorzugehen scheint, dass Silicate bei der Gegenwart von Wasser und unter bedeutendem Druck schon bei einer Temperatur von geringer Höhe flüssig werden, so sollten sich sämtliche Gesteine schon in einer verhältnissmässig sehr geringen Tiefe im Zustand wässriger Schmelzung befinden, vorausgesetzt, dass Wasser sie erfüllt, was allgemein angenommen wird. Es ist offenbar, dass dieser flüssige Zustand nicht existirt, da in einer solchen Masse Ebbe und Fluth stattfinden müssten. Es geht daraus hervor, dass der Schluss aus den DAUBRÉE'schen Versuchen, die überdiess bei Gegenwart grösserer Wassermengen angestellt wurden, nicht unmittelbar auf wasserhaltiges festes Gestein in der Tiefe anwendbar ist. Aber in welcher Beschränkung man auch die Annahme der

Umschmelzung von Sedimentgebilden zur Geltung bringt, man kann durch sie in keiner Weise die Gesetze der Vertheilung der Ausbrucherscheinungen nach gewissen Regionen oder Zonen erklären und noch weniger die Absonderung gewisser Eruptionsperioden in der Geschichte nicht allein jeder einzelnen Gegend, sondern des Erdballs überhaupt. Der Schauplatz der Ausbrüche könnte sich zwar periodisch geändert haben, aber die Thätigkeit selbst müsste im Allgemeinen perpetuirlich gewesen sein.

Diese Einwendungen gegen die metamorphische Theorie des Vulcanismus sind jedoch von geringem Gewicht im Vergleich zu einer anderen, welche die chemische Zusammensetzung der Ausbruchsgesteine betrifft und bereits an einer anderen Stelle angedeutet wurde. Wenn sie in der That nur umgeschmolzene Sedimente wären, müsste dann nicht ihre chemische Zusammensetzung ebenso zufällig, verschiedenartig und jedes inneren Gesetzes einer Reihung baar sein, als dies bei den Sedimentgesteinen der Fall ist? Welche Erklärung könnte man für das Walten einfacher Zahlengesetze in Betreff der chemischen Zusammensetzung der Eruptivgesteine aller Zonen und Zeitalter finden oder für die in verschiedenen Theilen der Erde gleichartige Reihenfolge, in der die Gesteine der verschiedenen Ordnungen in der Tertiärzeit ausgeworfen wurden? Wie den inneren Zusammenhang der vulkanischen mit den älteren Ausbruchsgesteinen erklären? Ein natürliches System der Eruptivgesteine wäre dann allerdings eine Chimäre. Dieser wichtige Gesichtspunkt scheint von den Anhängern der Umschmelzungstheorie ganz übersehen worden zu sein. Die Wechselbeziehungen der Eruptivgesteine sind gewissermaassen physiologische Erscheinungen, welche mit dem Organismus und der steten Fortentwicklung des Erdganzen innig zusammenhängen. Ordnung und Gesetzmässigkeit in ihren Eigenschaften und Erscheinungen zeichnet diese Gesteine aus, während die Mannichfaltigkeit der bedingenden Umstände die Sedimentgesteine jenen gegenüber als das mehr Zufällige und Regellose kennzeichnet.

Die Umschmelzungstheorie führt nothwendig zur Annahme eines ewigen Kreislaufs, in welchem Massengesteine aus Sedimentgebilden hervorgehen und durch Zerstörung in sie zurückgewandelt werden. Allein es muss eine Zeit gegeben haben, da noch keine Sedimente existirten, und der Ursprung

ihrer jetzigen ungeheueren Masse kann nur in der Zerstörung der ursprünglichen Erstarrungsrinde und solchen Materials gesucht werden, das durch die letzteren von unten herauf nach der Oberfläche drang. Das Gesamtvolumen, welches diese beiden Quellen geliefert haben, muss dem Gesamtvolumen der Sedimentgebilde nahezu gleich sein. Diese Betrachtung zeigt, welche über alle Grenzen der Vorstellung erhabene Rolle das periodische Ausbrechen von Gesteinsmassen aus Regionen unterhalb der tiefsten Sedimentgebilde in der Geschichte des Aufbaues und der Gestaltung der Erdrinde gespielt hat.

So stösst die Theorie der Entstehung der Eruptivgesteine durch Metamorphismus der Sedimentgebilde auf Schwierigkeiten und steht im Widerspruch mit erwiesenen Thatsachen, von welchem Gesichtspunkt immer wir sie betrachten mögen, und der Grad ihrer Wahrscheinlichkeit ist daher äusserst gering.

Es bleibt uns nun noch übrig zu untersuchen, wo die Grenze der Anwendbarkeit der hier vertretenen Theorie ist. Es kann kaum noch einem Zweifel unterliegen, dass der ursprüngliche Sitz der vulkanischen und porphyrischen Gesteine unterhalb der Sedimente gewesen ist, und mit eben so grosser Sicherheit steht die Mitwirkung des Metamorphismus bei der Bildung gewisser krystallinischer Schiefer fest. Da aber eine Reihe allmäliger Uebergangsstufen die vulkanischen Gesteine mit den Porphyren, Syeniten, Graniten und Gneissen verbindet, und eine ähnliche Reihe sich von metamorphischen Schiefen durch Gneiss zum Granit verfolgen lässt, so stehen Granit und Gneiss offenbar hinsichtlich ihrer äusseren Eigenschaften in Verbindung mit Gesteinen, denen wir eine ganz verschiedene Entstehung zuschreiben. Die Grenze der Annahme der beiden verschiedenen Entstehungsarten ist daher von verschiedenen Autoren sehr verschieden gezogen worden. Während Einige allen massigen krystallinischen Silicaten einen metamorphischen Ursprung zuschreiben, haben Andere ihn nur auf die granitischen Gesteine angewendet und den Rest der ersteren als aus dem geschmolzenen Erdinnern stammend betrachtet. Früher wurde dieser Ursprung von Vielen auch für Granit angenommen; aber jetzt begegnet man fast allgemein der Ansicht, dass wenigstens alle granitischen Gesteine „plutonischen“ oder „hypogenen“ oder „endogenen“ Ursprungs, das heisst durch Umschmelzung anstehender Massen von Sedimentgesteinen und

Krystallisation in der Tiefe entstanden seien, und dass sie noch fortdauernd in der Tiefe gebildet werden. Wir können uns bei Erörterung dieser Frage auf die Betrachtung des Granits allein beschränken. Denn was für ihn gilt, kann auf alle granitischen Gesteine übertragen werden.

In Gemässheit mit der in dieser Abhandlung versuchten Darstellung müssen alle jene Gesteine als die wahren Vertreter der die Erde ursprünglich zusammensetzenden Silicatgemenge angesehen werden, welche in Beziehung auf ihre Zusammensetzung dem BUNSEN'schen Gesetz untergeordnet sind. Ungeheure Massen derselben müssen sich jetzt noch an ihrer primitiven Lagerstätte befinden, das heisst concentrische Lagen innerhalb des durch Erstarrung aus heissflüssigem Zustand entstandenen Theils der Erdkruste bilden. Andere Theile, die im Verhältniss zu jenen verschwindend klein sind und sich von dem ursprünglichen Gemenge durch den Gehalt an zugeführten und beigemengten Stoffen, wie Wasser, Fluor, Chlor, Schwefel u. s. w., auszeichnen, müssen in den nach der Oberfläche gerichteten Canälen erstarrt sein, und nur ein ganz geringer Bruchtheil muss durch die an der Oberfläche geöffneten Spalten an diese gelangt sein und sich über sie ausgebreitet haben. Die äusseren Theile der Erstarrungskruste endlich oder die unmittelbare Grundlage der durch die äusseren Veränderungen entstandenen Gesteine muss aus sehr kieselsäurereichen Graniten bestehen, die zum Theil bei dem Niederschlag der ersten Wasser von sehr hoher Temperatur, das in Spalten eindrang und von ihnen aus seitlich wirkte, und unter dem Druck des überlagernden Meeres von Wasserdämpfen ein schiefriges Gefüge annehmen konnten.

Die chemische Zusammensetzung von Granit, Syenit, Diorit, Diabas und allen jenen porphyrischen Gesteinen, welche häufig als plutonisch betrachtet werden, zeigt die durch das BUNSEN'sche Gesetz geforderten Verhältnisse. In dieser Hinsicht also sind sie von sedimentären und metamorphischen Gesteinen wesentlich verschieden, und dies sollte genügende Evidenz sein, dass ihr ursprünglicher Sitz unterhalb der tiefsten Sedimente gewesen ist.

Es werden gegen diese Annahme von den Anhängern der plutonischen Theorie des Granits verschiedene Einwendungen erhoben, die wir der Reihe nach betrachten wollen. Es wird

zunächst behauptet, dass Granit nicht die Unterlage der Sedimentgesteine bilden könne, weil er die ältesten Formationen häufig überlagere, und in den Fällen, wo er das Liegendste der sichtbaren Gesteine bildet, immer noch Sedimente unter ihm lagern mögen. Es ist unnöthig, auf eine Besprechung dieses Einwandes einzugehen. Denn weit davon entfernt, dass die Annahme einer aus Granit bestehenden Kruste sein späteres Hervorbrechen durch Spalten und Ueberfliessen an der Oberfläche ausschliesst, sind derartige Vorgänge vielmehr eine nothwendige Folge derselben. Die wahre Natur des Gesteins, welches die Grundlage der Sedimente bildet, ist natürlich unter denjenigen Gegenständen, für welche wir nur das Kriterium der grössten Wahrscheinlichkeit anwenden können. Die Annahme einer granitischen Unterlage ist die einzige, welche auf keinerlei Widersprüche stösst und mit allen uns bekannten Vorgängen des Vulcanismus im Einklang ist. Sie bildet den Grundstein für die befriedigende Erklärung des inneren Zusammenhanges der Eruptivgesteine.

Es wird ferner behauptet, dass Granit nie als wirkliches Ausbruchsgestein, das heisst nach dem Ausströmen aus Spalten über die Oberfläche ausgebreitet, vorkomme, sondern stets als unter dem Druck mächtiger überlagernder Gesteinsmassen erstarrtes Gestein angenommen werden müsse. Die „breiartige“ Masse möge sich zwar durch Druck in Spalten des Nebengesteins verzweigt haben, aber an die Oberfläche sei sie nicht gedrungen. Ist es schon an und für sich ein eigenthümlicher Widerspruch, anzunehmen, dass Granit in der Tiefe eingesperrt bleiben musste und es noch heute sein muss, während in späterer Zeit gewissen porphyrischen Gesteinen und in heutiger Zeit den vulkanischen Gesteinen der Zutritt an die Oberfläche gestattet wurde, so ist auch das geotectonische Verhalten des Granits jener Behauptung direct entgegen. Allerdings sind viele Granite, die wir jetzt beobachten, in den Zuführungscanälen erstarrt, und in manchen Fällen scheint er nicht die Oberfläche erreicht zu haben. Allein gerade die grossartigsten Vorkommnisse des Granits sind derartig, dass sie nur durch die Annahme erklärt werden können, dass er sich über die zur Zeit seiner Eruption bestehende Oberfläche weiterhin ausgebreitet habe. Im südlichen Norwegen und in Canada sind granitische Bedeckungen, tausende von Fussen mächtig,

über den steil aufgerichteten Schichten azoischer Schiefer beobachtet worden, und eine ähnliche Ueberlagerung fand G. ROSE im Altai. Es sind allerdings gerade diese Fälle als Stütze für die plutonische Theorie benützt worden, auf Grund der Abwesenheit sichtbarer Zuführungscanäle des Granits. Allein man kann diese selbst bei Lavaströmen und Basalkuppen nur selten beobachten. Andererseits ist es wohl einleuchtend, dass die von Granit bedeckten Formationen zuerst hätten in einen breiartigen Zustand und massige krystallinische Gesteine übergeführt werden müssen, da ihre steile Schichtenstellung die Vorgänge des Metamorphismus hätte begünstigen sollen. Wenn man die über hunderte von Quadratmeilen ausgebreiteten Granite der Sierra Nevada sieht, die trotz ihrer jugendlichen Entstehung keine Spur von Resten bedeckender Gesteine tragen; wenn man die schalige Structur ihrer Kuppen und die plötzlichen Unterbrechungen der Stetigkeit der Oberfläche durch Abbrüche und Versenkungen beobachtet, wie man sie sonst nur in kleinem Maasstab bei solchen Gesteinsströmen kennt, deren Erstarrung aus flüssigem Zustand an der Atmosphäre keinem Zweifel unterliegt; wenn man dann die allenthalben vorkommenden ausgedehnten und verzweigten Gänge sieht und die zahllosen eckigen Bruchstücke von Schiefergesteinen, welche der Granit besondees in der Nähe derselben einschliesst, so drängt sich unwiderstehlich die Ueberzeugung auf, dass diese Granite nur durch das Ueberströmen aus Spalten emporgedrungener Massen an ihre jetzige Lagerstätte gelangt sein können. Und doch sind sie in der Structur nicht im Geringsten von anderen Graniten verschieden.

Die plutonische Theorie des Granits sucht ferner eine Stütze in der Vergesellschaftung des Granits mit metamorphischen Gesteinen und in dem allmäligen Uebergang in Zusammensetzung und Structur, der sich von dem ersteren in die letzteren nachweisen lässt. Dieser Einwand liess sich halten, so lange die Gegner der Theorie als Ursache des Metamorphismus allein die Einwirkung der Hitze der granitischen Massen annahmen. Seitdem aber DAUBRÉE gezeigt hat, wie in den Urzeiten in Verbindung mit Granit Gneisse gebildet werden konnten, die zum Theil sogar seine Zusammensetzung theilen würden, und wie das Eindringen von Granit in Spalten mit Hülfe von Druck und überhitztem Wasser die weitgreifend-

sten metamorphischen Vorgänge von derselben Art, wie wir sie in den Gesteinen beobachten, hervorbringen würde, fällt der Einwand weg. Wir müssen in Betracht ziehen, dass die Art des Vorkommens von Granit darauf schliessen lässt, dass er häufig in Spalten eindrang, die an der Oberfläche nicht geöffnet waren. Die fortdauernde Ueberführung neuer Massen am Grund der Spalte in den Zustand wässriger Schmelzung und das Nachdringen derselben in Folge der beständigen Volumenvermehrung mussten in solchen Fällen eigenthümliche Verhältnisse hervorrufen. Druck und Wärme mussten wachsen, die Intensität des Metamorphismus zunehmen und die umgebenden Massen in einen plastischen Zustand übergeführt werden, während gleichzeitig die Hebung der Oberfläche beschleunigt werden musste. Bei der Erstarrung unter hohem Druck würden dann die äusseren Theile des Granits mit schiefri gem Gefüge krystallisiren, bis durch das Nachlassen der Volumenvermehrung von unten und durch das Ueberhandnehmen der Volumenverminderung in Folge der Zusammenziehung der flüssigen Masse beim Erkalten die Verhältnisse des Drucks sich ändern und die noch flüssigen Theile zu massigem krystallinischem Granit erstarren würden. In dieser Weise mag sich die Entstehung mancher der mantelförmig von krystallinischen Schiefern umhüllten Granitkeile und der allmähliche Gesteinsübergang erklären.

Es bleibt uns nur ein Einwand zu erörtern, welcher sich weniger auf den ursprünglichen Sitz des Granits als auf die Frage bezieht, ob er in gewissen Fällen als ein an der Oberfläche erstarrtes Ausbruchsgestein angesehen werden darf. Wir betrachteten diese Frage bereits vom geologischen Gesichtspunkt. Die Anhänger der metamorphischen Theorie des Granits leugnen die Haltbarkeit der Annahme, dass dieses Gestein jemals an der Oberfläche erstarrt sein könne, da es einerseits ein ganz verschiedenes Aussehen habe als vulkanische Gesteine, die offenbar an der Atmosphäre erstarrt sind, andererseits seine Textur den Beweis seiner Erstarrung in der Tiefe gebe. Was den ersten Einwand betrifft, so sollte man nicht Granit mit den vulkanischen Gesteinen im Allgemeinen vergleichen, sondern Granit mit Rhyolith, Diorit mit Propylit und Diabas mit Basalt. Thut man dies, so ist die Aehnlichkeit gewisser Typen aus beiden Gesteinsklassen unverkennbar.

Diese Aehnlichkeit scheint sich bei der mikroskopischen Untersuchung noch deutlicher herauszustellen als bei oberflächlicher Betrachtung. FERD. ZIRKEL fand*), dass Rhyolith und Quarzporphyr sich unter dem Mikroskop nicht unterscheiden lassen, und dass die mikroskopische Textur von rhyolithischem Quarz nicht den geringsten Unterschied von der des granitischen Quarzes bietet. Wasserporen und Glasporen sind in beiden gleichartig und in gleicher Anzahl vorhanden. Was den zweiten Einwand betrifft, dass Granit die Anzeichen einer Erstarrung in der Tiefe an sich trägt, so hat allerdings SORBY aus seinen Beobachtungen gefolgert, dass Granit bei einer Temperatur von ungefähr 600 Grad FAHR. und unter einem Druck, der einer Tiefe von 40,000 bis 69,000 Fuss entsprechen würde, erstarrt sein müsse. Die Berechnung ist auf Grundlage des Grössenverhältnisses der Wasserporen und des in ihnen enthaltenen luftleeren Bläschens gemacht, indem angenommen wird, dass das Wasser früher die ganze Pore erfüllte und sich nach dem Festwerden des einschliessenden Gesteins zusammengezogen habe. Allein, wie DAUBRÉE mit Recht bemerkt, sind die Gesetze des hydrostatischen Drucks in derartigen Fällen nicht in derselben Weise anwendbar als in einer durch Spalten frei aufsteigenden Wassersäule; Temperatur und Druck mögen in einer aus zähflüssigem Zustand erstarrenden Masse bis zur Entfernung weniger Fusse von der Oberfläche erhalten werden, wie in einem geschlossenen Gefäss. Manche Vorgänge, wie die Krystallisation des Granits, mögen daher unter hohem Druck und doch in geringer Entfernung von der Oberfläche vor sich gegangen sein. Granit ist nach Allem, was wir darüber beobachten können, ungemein zähflüssig gewesen. Er sollte daher wenig Verschiedenheit in der Textur bieten, ob er in Spalten oder an der Oberfläche erstarrt ist. Die äusserste Erstarrungsrinde muss allerdings im letzteren Fall verschiedene Textur von den darunter befindlichen Massen gehabt haben. Aber das Alter der Granite ist so gross, dass man wohl annehmen darf, dass die äusserste Kruste in allen Fällen durch Denudation längst abgetragen ist.

Es ergibt sich hieraus, dass die Argumente gegen die

*) Dr. FERDINAND ZIRKEL, Mikroskopische Gesteinsstudien. Sitzungsberichte d. k. Akad. d. Wissensch. zu Wien, Band 47. 1863

Annahme, dass der ursprüngliche Sitz der Granite innerhalb der Erstarrungsrinde gewesen ist, sowie für die Annahme seiner Entstehung durch den Metamorphismus von Sedimentgesteinen und seiner ausschliesslichen Krystallisation unter dem Druck mächtiger auflagernder Massen unhaltbar sind. Dennoch müssen wir zugestehen, dass die offenbaren Unterschiede granitischer und vulkanischer Gesteine ein schwieriges und ungelöstes Problem sind. Die verhältnissmässig schnellere Erstarrung der in kleinerer Masse auftretenden vulkanischen Gesteine mag einer der Gründe dieser Verschiedenheiten sein. Aber sie ist nicht der einzige Grund. Es giebt Unterschiede im Charakter von Gesteinen, welche wir nicht zu erklären vermögen. Es ist vollständig sicher, dass Hornblende-Propylit an der Oberfläche erstarrt ist, und doch hat er das Ansehen der sogenannten plutonischen Gesteine. Wenn wir in Betracht ziehen, dass gewisse Varietäten von Propylit, Andesit und Trachyt nur verschiedene Modificationen derselben Gruppe chemischer Gemenge sind, dass sie sämmtlich innerhalb einer kurzen Periode an der Erdoberfläche erstarrt und doch äusserlich verschieden sind, so können wir uns nicht wundern, dass Rhyolith und Granit, die so weit in der Zeit geschieden sind, noch grössere Unterschiede bieten. Das Studium der vulkanischen Gesteine verspricht viel zum Verständniss dieser Erscheinungen beizutragen. Wir sehen dasselbe Silicatgemenge dünnflüssig in einem Krater, zähflüssig in einem anderen. Dort erstarrt es zu Basalt, hier zu Dolerit oder Leucitophyr. Aehnliche Einflüsse scheinen grössere Unterschiede in kieselsäurereicheren Gemengen hervorzubringen. Bis wir mit den Ursachen der lithologischen Unterschiede der Eruptivgesteine besser bekannt sind, sollten daher die Beweise für die Art der Entstehung der granitischen Gesteine allein von seiner chemischen Zusammensetzung, seinem geologischen Auftreten und seinen Wechselbeziehungen mit anderen Gesteinen hergenommen werden, mit deren Entstehungsart wir besser bekannt sind.

Beziehungen der Verbreitung vulkanischer Gesteine zur Gestalt der Oberfläche der Erde.

Wenn wir die in den vorhergehenden Abschnitten angedeuteten, auf die Geschichte der eruptiven Thätigkeit bezüglichen Thatsachen in ihrer Allgemeinheit zusammenfassen, so scheint daraus hervorzugehen, dass diese Geschichte in Beziehung auf den Erdball ein harmonisches Ganzes bildet und nur solchen allmäligen Aenderungen in der Gesammtheit der Erscheinungen unterworfen gewesen ist, als mit der fortschreitenden physischen Entwicklung der Erde in Folge der allmäligen Wärmeabgabe nothwendig verbunden sein mussten, während sie in Beziehung auf jeden einzelnen Theil der Erdoberfläche eine Reihe getrennter Phasen darstellt, welche aber durch Wechselbeziehungen verschiedener Art innig verkettet sind. Es würde eine Aufgabe von hohem Interesse sein, den Einfluss zu erforschen, welchen die Ereignisse dieser Phasen in irgend einer Gegend auf deren inneren Bau und letzte Gestaltung gehabt haben. Eine Vergleichung der für verschiedene Gegenden gewonnenen Ergebnisse würde zu einer vollständigeren Kenntniss der Geschichte des Erdballs führen und eine Grundlage für die Beantwortung vieler der wichtigeren Fragen in denjenigen Theilen der physikalischen Geographie bilden, wo diese Wissenschaft und die Geologie sich durchdringen. An dieser Stelle will ich mich darauf beschränken, jene Einwirkungen in Beziehung auf die letzte Phase eruptiver Thätigkeit zu betrachten, die einzige, welche in allen Gegenden nahezu gleichzeitig gewesen ist. Sie bieten der Betrachtung den Vortheil, dass sie mit Ereignissen der jüngsten Perioden verbunden sind, und dass wir sie daher in klarerem Licht betrachten können als die Natur und Aufeinanderfolge solcher Begebnisse, welche in entlegenen Perioden stattfanden, und deren Spuren durch die grossartigen Veränderungen, welche seitdem die Erdoberfläche umgestaltet haben, undeutlich und zum Theil verwischt worden sind.

Wir haben zu diesem Zweck zunächst die Eigenthümlichkeiten in der Verbreitung vulkanischer Gesteine mehr in ihren Einzelheiten zu betrachten, als wir bisher gethan haben. Es ist häufig hervorgehoben worden, dass die jetzt thätigen Vulkane vorwaltend entlang den Küsten gegenwärtiger Meere, be-

sonders am Fuss von Gebirgszügen, welche benachbarten Küsten parallel sind, oder entlang Erhebungen aus dem Meeresgrund auftreten und dann bald untermeerisch bleiben, bald in Inselreihen über die Meeresfläche hervorragten. Es scheint, dass Inselvulkane häufig die hochehobenen Grenzgebirge untermeerischer Continente bezeichnen, wenn wir uns dieses Ausdrucks für die gewaltigen Umwallungen seichter gegen sehr tiefe Meere bedienen dürfen, wie sie zum Beispiel in den Hauptketten der hinterindischen Vulkane existiren. Es ist auch mit Recht Gewicht darauf gelegt worden, dass besondere Zusammenhäufungen thätiger Vulkane dort vorkommen, wo die schmal auslaufenden Enden zweier Continente sich zu verbinden streben, wie in Central-Amerika, auf den Aleutischen Inseln und zwischen Neu-Holland und Hinterindien. Der Verbreitung erloschener Vulkane ist bisher wenig Aufmerksamkeit geschenkt worden. Da sie jedoch ungleich zahlreicher sind als die thätigen, und in ausgedehnten Gebieten alle Thätigkeit von Vulkanen aufgehört hat, so wird erst ihre Hinzuziehung in die Betrachtung ein vollständiges Bild der Vertheilung der vulkanischen Thätigkeit geben. Ihre allgemeinen Verbreitungsgesetze scheinen zum Theil nicht verschieden von denjenigen zu sein, welche für die thätigen Vulkane gelten. Sie sind deutlich von dem Verlauf der Küstenlinien abhängig gewesen, welche zur Zeit ihrer Thätigkeit existirten und grösstentheils von den jetzigen weit abwichen. Es tritt jedoch bei ihnen die Erscheinung hinzu, dass zu den grossartigsten Verbreitungsgebieten erloschener Vulkane solche Gegenden gehören, welche zur Zeit ihrer Thätigkeit mit salzhaltigen Binnenseen bedeckt waren und jetzt grösstentheils stark gehobene Hochflächen bilden, auf denen sich noch die Reste jener Salzseen befinden. Zu diesen Vulkanen, welche zum Theil in Entfernungen von über hundert geographischen Meilen von den damaligen Meeren in zahlreichen Gruppen angehäuft waren, gehören insbesondere diejenigen auf dem Plateau zwischen der Sierra Nevada und dem Felsengebirge, in den Staaten und Territorien Idaho, Montana, Utah, Nevada, Californien, Arizona, Neu-Mexico, Colorado (ein zusammenhängendes, intensiv vulkanisches Gebiet, das wenigstens das vierfache Areal von Deutschland hat), sowie in der mexicanischen Verlängerung dieser Hochfläche; ferner diejenigen der Wüste Gobi, des Thian-Shan, des Hoch-

landes von Persien und Armenien und wahrscheinlich des nordöstlichen Afrikas. Diese Vulkane sind, mit Ausnahme einiger weniger im südlichen Theil des Plateaus von Mexico und einer geringen Zahl anderer, die noch als Solfataren thätig sind, sämmtlich erloschen.

Von so grossem Interesse indess auch eine Karte sein würde, auf welcher alle thätigen und erloschenen Vulkane verzeichnet wären, so würde sie doch die Verbreitung der grossen Anhäufungen von vulkanischen Gesteinen, welche Massenausbrüchen ihre Entstehung verdanken, nur in ihren Grundlinien angeben.*) Da ihre geographische Vertheilung auf geologischen Karten nur weniger Länder mit Genauigkeit dargelegt ist, so lassen sich ihre Gesetze gegenwärtig nur sehr unvollkommen erkennen. Insoweit ihre Verbreitung diejenige der Vulkane

*) Die Anden von Nord- und Süd-America geben davon einen auffallenden Beweis. HUMBOLDT (Kosmos Bd. 4. S. 546, 547) unterscheidet fünf Vulkangruppen, die durch vulkanleere Strecken getrennt sind. Sie sind folgende: 1) die Vulkangruppe von Mexico, welche zwar 98 Meilen lang ist, aber wegen ihrer ostwestlichen Erstreckung kaum einen Breitengrad einnimmt. Durch eine vulkanfreie Strecke von 75 Meilen getrennt, folgt 2) die Vulkangruppe von Central-Amerika, welche eine Länge von über 170 Meilen hat und durch eine vulkanleere Strecke von 157 Meilen von der 118 Meilen langen 3) Gruppe der Vulkane von Neu-Granada und Quito getrennt wird. Es folgt nun der längste vulkanleere Zwischenraum von 240 Meilen, darauf 4) die 105 Meilen lange Gruppe der Vulkane von Peru und Bolivia, darauf wiederum eine vulkanfreie Strecke von 135 Meilen und endlich die längste Vulkanreihe von Amerika, diejenige von Chili, mit einer Erstreckung von 242 Meilen. Es ergeben sich daher im Ganzen in dem durch die genannten Gebiete begriffenen Theil der Anden 635 Meilen als vulkanisches, 607 Meilen als vulkanfreies Gebiet.

Eine Karte, auf welcher alle vulkanischen Gesteine der Anden verzeichnet wären, würde ein von dem beschriebenen weit verschiedenes Bild geben. Es mag an dieser Stelle genügen, auf die ausgedehnten Lavafelder hinzuweisen, welche Capt. FITZROY im südlichen Patagonien fand, auf die grosse Verbreitung vulkanischer Gesteine in der Wüste Atacama zwischen den Vulkanreihen von Chile und Bolivia, auf ihr massenhaftes Auftreten im nördlichen Peru (zum Beispiel in der Umgebung von Pasco) zwischen der vierten und dritten der angeführten Vulkanreihen, vor Allem aber auf die grossartige Bedeutung, welche vulkanische Gesteine, von hunderten und wohl tausenden erloschenen Kratern begleitet, als gebirgsbildendes Element in dem gesammten Andesgebirge von Nord-Amerika, von Panama, bis zur Halbinsel Aliaska haben.

in sich begreift, zeigt sie alle für die thätigen und erloschenen Schlünde erwähnten Eigenthümlichkeiten. Ausserdem aber finden sich jene Gesteine auch auf Gebirgskämmen. In diesem Fall sind sie nur selten von Vulkanen begleitet.

Wenden wir uns von der Betrachtung der geographischen zu derjenigen der geologischen Eigenthümlichkeiten in der Verbreitung vulkanischer Gesteine, so haben wir zunächst die bereits erwähnten Beziehungen von diesem Gesichtspunkt zu betrachten. Die beiden augenfälligsten Verbreitungsformen, am Fuss von Gebirgsketten und entlang Meeresküsten, sind, in dieser Weise betrachtet, nahezu identisch. Denn die meisten, wenn nicht alle jene Gebirgsketten, deren Flanken oder deren nächste Umgebung sich durch die Anhäufung vulkanischer Gesteine auszeichnen, waren entweder während der Tertiärperiode in der Nachbarschaft von Meeresküsten, oder sie sind es jetzt, oder sie waren es in der Zwischenzeit. Abgesehen von den thätigen Vulkanen und Anhäufungen durch Massenausbrüche in den Karpathen, am Südrand der Alpen, am Rand der norddeutschen Ebene, am Abfall des Plateaus von Central-Asien, vom Kaukasus über den Issikul-See und Baikal-See bis in die Nähe von Peking, in den californischen Küstengebirgen, im Kaskadengebirge im Oregon und zahlreichen anderen Gegenden. Was aber das massenhafte Auftreten vulkanischer Gesteine auf Hochebenen betrifft, so ist ihr Vorkommen dem erwähnten ganz analog, indem die in der Tertiärzeit sehr ausgebreiteten Salzseen auf ihnen gleichsam einen Ersatz für die Nachbarschaft des Meeres geboten zu haben scheinen. Da solche Landstriche, welche seit Anfang der Tertiärperiode Binnenländer und zugleich von Salzseen nicht bedeckt gewesen sind, von Ausbrüchen frei geblieben sind, so ist der Einfluss unverkennbar, den die Gegenwart grosser Massen von Salzwasser auf den Anfang und die Hauptphasen der eruptiven Thätigkeit gehabt hat, wenn auch die späteren Phasen der vulkanischen Ausbrüche häufig durch süßes Wasser unterhalten worden sein mögen.

Die Beziehungen der Verbreitung vulkanischer zu derjenigen der granitischen und porphyrischen Gesteine wurden bereits an einer anderen Stelle erwähnt. Es giebt kaum eine durch Anhäufung vulkanischer Gesteine ausgezeichnete Gegend, wo sich nicht das vorherige Ausbrechen entweder nur grani-

tischer oder granitischer und porphyrischer Gesteine nachweisen lässt, vorausgesetzt, dass Beobachtungen in dieser Richtung überhaupt ausführbar sind. Da sich jedoch die eruptive Thätigkeit der vulkanischen Aera weit über die porphyrischen Gebiete hinaus erstreckt hat, andererseits aber einige porphyrische Regionen und zahlreiche bekannte Granitgebiete und wahrscheinlich eine weit grössere Zahl anderer, welche der Beobachtung nicht zugänglich sind, ausserhalb der vulkanischen Zonen gelegen sind, so scheint es, dass der Einfluss alter Eruptionscanäle kein ursächlich bestimmender gewesen ist, sondern dass dieselben nur die Richtung bezeichnet haben, in welcher die durch Vorgänge besonderer Art entwickelten Kraftäusserungen dem geringsten Widerstand begegneten.

Endlich haben wir noch des vorwaltenden Vorkommens vulkanischer Gesteine innerhalb und in der unmittelbaren Nachbarschaft solcher Gegenden zu erwähnen, wo ältere Formationen in hohem Grad in ihrer Lagerung gestört und ihre Schichten in steile Stellung gebracht und einem ausgedehnten Metamorphismus unterworfen gewesen waren. Dies rechtfertigt jedoch in keiner Weise den Schluss, dass das Vorhandensein metamorphischer Schichten bestimmend für den Ausbruch war. Denn nicht nur sind Schweden und Norwegen, die Appalachischen Gebirge und andere Gegenden, wo ein durchgreifender Metamorphismus in alten Zeiten stattgefunden hatte, vollständig frei von Vulkanen geblieben, sondern auch solche Gebirge, welche sich durch einen sehr jugendlichen Metamorphismus ausgezeichnet haben, sind grossentheils nur in sehr geringem Maass selbst der Schauplatz eruptiver Thätigkeit in der vulkanischen Aera gewesen. Dies ist besonders auffallend bei so hervorragenden Gebirgen wie die Alpen, der Himalaya und die Pyrenäen.

Die beiden zuletzt genannten Beziehungen, beide offenbar und doch von untergeordneter Bedeutung, sind nahezu identisch, da alle Gegenden, in denen ein ausgebreiteter Metamorphismus stattgefunden hat, durch das Auftreten von Granit und zuweilen durch das Hinzukommen von Porphyren ausgezeichnet gewesen sind. Es ist jedoch wohl zu bemerken, dass die Lagerungsform des Granits einige Beziehung zu dem Vorkommen oder Fehlen vulkanischer Gesteine zu haben scheint. Denn die eruptive Thätigkeit in der Tertiärperiode scheint

wesentlich auf einen Theil jener Gegenden beschränkt gewesen zu sein, wo Granit den unzweifelhaften Charakter eines Ausbruchsgesteins hat, das heisst, wo die Art seines Vorkommens uns zu der Annahme nöthigt, dass er ausgebreitete Massen auf der früheren Erdoberfläche bildete und in dieser Lagerung erstarrte, wie dies in der Sierra Nevada, im Great Basin, in Mittel-Deutschland und in anderen Gegenden der Fall ist, während dort, wo der Granit keilförmig in metamorphische Gesteine dringt und von diesen mantelförmig umhüllt wird und dadurch einen intrusiven Charakter hat, vulkanische Gesteine selten vorkommen oder gänzlich zu fehlen scheinen. *)

*) Eine andere Eigenthümlichkeit in der Verbreitung vulkanischer Gesteine mag hier angedeutet werden, welche sehr allgemein zu sein scheint und in sehr hohem Grade der Aufmerksamkeit werth ist, da sie viel zum Verständniss der Gebirgsformen beizutragen verspricht. Es ist das Auftreten dieser Gesteine entlang den Linien der Verwerfung von Gebirgen, wenn wir uns dieses Ausdrucks für die grossartigen Dislocationen bedienen dürfen, welche viele der letzteren, wie es scheint häufig, erlitten haben entweder quer gegen ihre Streichrichtung oder derselben parallel. Ein bemerkenswerthes Beispiel der ersteren Art befindet sich im nördlichen Ungarn, wo die Karpathen entlang der Linie Eperies-Kaschau in beinahe meridionaler Richtung verworfen sind. Im Westen sind Gebirge von mittlerer Erhebung, welche aus älteren Formationen mit Durchbrüchen granitischer, porphyrischer und vulkanischer Gesteine bestehen und gegen Norden allmählig zur hohen Tatra ansteigen. Sie streichen östlich bis zur Verwerfungslinie und sind dort plötzlich abgebrochen. Oestlich von ihr setzt der Hauptzug der Karpathen, hauptsächlich aus Wiener-Sandstein und Eocänschichten bestehend, als ein Gebirge von mittlerer Erhebung fort, das erst in der Marmarosch wieder allmählig zu seiner früheren Erhebung ansteigt. An die Stelle der westlichen Mittelgebirge aber tritt im Osten der Spalte die ungarische Ebene. Aus der Spalte heraus steigt das meridionale Eperies-Kaschau-Gebirge, welches gänzlich aus vulkanischen Gesteinen aufgebaut ist. Die Senkung des Landes östlich von der Verwerfungsspalte muss tausende von Fuss betragen haben. Eine Verwerfung von ähnlicher Grossartigkeit, wobei der westliche Theil um mehrere tausend Fuss versenkt ist, hat entlang dem Rheinthal an der Grenze von Vorarlberg und Lichtenstein gegen die Schweiz stattgefunden. Vulkanische Gesteine kommen dort nicht vor, eine Thatsache, die mit der Abwesenheit älterer Eruptivgesteine in den Umgebungen und dem keilförmigen Vorkommen des Granits an seinen nächsten Lagerstätten in Einklang zu stehen scheint. Auch in den Appalachischen Gebirgen in den nordöstlichen Staaten der amerikanischen Union sind Verwerfungen von ausserordentlicher Grossartigkeit ohne Begleitung von vulkanischen Gesteinen beobachtet worden. Ein lehr-

Dies scheinen die wesentlichsten geographischen und geologischen Beziehungen der Verbreitung vulkanischer Gesteine zu sein. Offenbar war keiner von ihnen ursächlich bedingend

reiches Beispiel, bei dem quer und parallel zum Streichen des Gebirges gerichtete Verwerfungen gewirkt zu haben scheinen, bieten die drei Porphyrrregionen am Südabfall der Alpen und Karpathen. Jede derselben zeigt durch den Verlauf und die Gestalt der Grenzlinien gegen das kristallinische Gebirge eine tiefe, durch Verwerfungen begrenzte Versenkung des Gebietes an, welches der Schauplatz der eruptiven Thätigkeit war. Ein ungemein grossartiges Beispiel der transversalen Verwerfung und theilweisen Versenkung einer gewaltigen Gebirgskette findet sich in der Umgebung der hohen Vulkane Lassen's Peak und Mount Shasta in der Sierra Nevada. Eine genauere Beschreibung soll im Verlauf dieser Mittheilungen gegeben werden. Ein Theil dieser mächtigen und sonst ungebrochenen Gebirgskette von wenigstens zwanzig deutschen Meilen in der Länge und von zwei transversal gerichteten Verwerfungsspalten begrenzt, ist um tausende von Fussen gesunken, und die dadurch entstandene Lücke durch ausserordentliche Anhäufung von vulkanischen Gesteinen ausgefüllt worden, die in den beiden genannten majestätischen Vulkanen gipfeln. Andere Verwerfungen, welche den transversalen gegenüber als longitudinale bezeichnet werden mögen und ungleich häufiger vorkommen, sind den Gebirgen parallel, lassen sich jedoch gewöhnlich weniger deutlich beobachten. Von seltener Klarheit ist der steile Abbruch der Sierra Nevada gegen das im Osten sich anschliessende Hochland. Die Abbruchlinie ist in ihrem ganzen Verlauf durch das massenhafte Auftreten vulkanischer Gesteine ausgezeichnet. Aehnlich scheint nach Beschreibungen der westliche Steilabfall des Felsengebirges auf dieselbe Hochfläche zu sein. Das Vihorlat-Gutin-Gebirge im nördlichen Ungarn ist ein auffallendes Beispiel der ausgedehnten Anhäufung vulkanischer Gesteine entlang dem Fuss eines anderen Gebirges. Die Verwerfung lässt sich allerdings dort nicht nachweisen, da die Ablagerungen der ungarischen Ebene sie bedecken. Diesen Erscheinungen nahe verwandt scheint die Art des Auftretens vulkanischer Gesteine in gewissen flachen oder hügeligen Gegenden zu sein, welche allseitig von Gebirgen umschlossen sind, die aus älteren Gesteinen bestehen. Das beste Beispiel dieser Art der Verbreitung giebt Siebenbürgen, das ringsum von hohen Gebirgen umgeben ist, denen an der Innenseite gegen das Hügelland, welches die Mitte einnimmt, Züge von vulkanischen Gesteinen als ein zweiter Ring sich anschliessen. Ungarn und Böhmen zeigen ein ähnliches Verhältniss, wiewohl bei Weitem nicht so deutlich. Hierher gehören auch eine Anzahl elliptischer Becken, welche dem Kamm der Sierra Nevada eingesenkt und entweder mit Seen (zum Beispiel Tahoe-See) oder mit See-Ablagerungen erfüllt und dann mit Wiesenflächen bedeckt sind (Sierra-Thal, Sardine-Thal und andere). Jedes dieser Becken ist zunächst von einem Ring vulkanischer Gesteine und dann erst von einem zweiten höher auf-

für das Vorkommen derselben im Allgemeinen, aber alle haben einen deutlichen Einfluss auf den Weg und die Richtung der Spaltenbildung gehabt, während das Meerwasser im Besonderen als der Factor zu betrachten ist, der die Modalität der Ausbrüche bestimmte und die letzteren in der That allein möglich machte. In Folge früher Zerberstungen der Kruste waren Granit und Porphyr aufgestiegen, und sie gaben nun die Orte des geringsten Widerstandes innerhalb der vulkanischen Zonen an, während der Metamorphismus, zum grossen Theil eine Folge ihrer Ausbrüche, vielleicht beitrug, den Widerstand an den Orten der ehemaligen Aufspaltungen zu vermindern. Ohne diese verschiedenartigen Beziehungen aus dem Auge zu verlieren, wollen wir in den folgenden Seiten insbesondere den Zusammenhang des Auftretens vulkanischer Gesteine mit den Unebenheiten der Erdoberfläche betrachten. Dieser Gegenstand greift anscheinend über die Grenzen des Zweckes dieser Abhandlung hinaus. Allein die Untersuchung jeder Frage, welche den Zusammenhang der den Ausbruch der vulkanischen Gesteine begleitenden Erscheinungen betrifft, muss dazu beitragen, die wahre Natur und den Zusammenhang dieser Gesteine selbst zu enthüllen und die Grundzüge ihres natürlichen Systems zu befestigen. Wo immer vulkanische Gesteine in Masse erscheinen, da deuten die Verhältnisse des Gebirgsbaues und die Unebenheiten der Oberfläche darauf hin, dass bedeutende Störungen in der Kruste stattgefunden haben. Es drängen sich die Fragen auf: war die besondere Structur gewisser Theile der Erdkruste, auf welche das Vorhandensein erhabener Gebiete an der Oberfläche hindeutet, eine der Ursachen des Ausbruchs vulkanischer Gesteine, oder waren die Unebenheiten der Oberfläche in vulkanischen Gegenden die Folge der die Eruptionen bedingenden und begleitenden Vorgänge?

steigenden Ring der metamorphischen und granitischen Gesteine der Sierra Nevada umgeben. Auf Hochflächen scheint die Erscheinung häufig vorzukommen. Man kann diese Einsenkungen als kesselförmige oder ringförmige Verwerfungen gegenüber den vorher betrachteten transversalen und longitudinalen Verwerfungen der Gebirge bezeichnen. Es liegt nahe, diese dem Vulkanismus der Erde verbundenen ringförmigen Versenkungen mit ihrer Einfassung von Ausbruchsgesteinen und thätigen Vulkanen der eigenthümlichen Configuration der Oberfläche des Mondes zu vergleichen.

Es scheint, dass wir beide Fragen bejahend beantworten müssen. Die Unebenheiten oder vielmehr die gestörten Structurverhältnisse, auf welche sie hindeuten, scheinen zu den Ursachen der Ausbrüche gehört zu haben, weil alle jene Gebirgsketten und Hochflächen, die von vulkanischen Gesteinen durchsetzt oder begleitet werden, schon vor der Zeit der Eruptionen als Gebirge existirt hatten und weil benachbarte Ebenen von jenen Gesteinen frei zu sein pflegen. Andererseits aber ist es vollkommen klar, dass die Ausbrüche der vulkanischen Gesteine oder vielmehr diejenigen Vorgänge, welche ihnen zu Grunde lagen, eine mächtige Rückwirkung auf die Beförderung jener Unebenheiten des Bodens gehabt haben. Dafür zeugt die Thatsache, dass in der Nachbarschaft vulkanischer Gesteine Erhebungen solcher Sedimente stattgefunden haben, welche ihnen entweder im Alter unmittelbar vorangingen oder mit ihnen gleichzeitig abgelagert wurden, und meist auch von solchen, welche ihnen im Alter folgten. Die Störungen in der Lagerung dieser Sedimente nehmen gewöhnlich mit der Entfernung von den vulkanischen Gebieten ab. Ausserdem aber lassen geologische Beobachtungen keinen Zweifel darüber, dass seit dem Ende der Eocänperiode und vorzüglich während der vulkanischen Aera ein grösserer Betrag allgemeiner Erhebung von grossen Gebieten auf der Erdoberfläche stattgefunden hat als in ungleich längeren Zeiträumen zuvor. Die Gesteine, welche die Gipfelreihen der höchsten Gebirge und Hochländer der Gegenwart zusammensetzen, hatten eine um tausende von Fussen geringere Erhebung in der Kreide- und Eocän-Periode. Dies gilt nicht nur für solche Gebirge, welche wie die Anden und das Felsengebirge intensiv vulkanisch sind, sondern auch für solche, welche gleich den Alpen und dem Himalaya nur in sehr geringem Maass einen unmittelbar erkennbaren Zusammenhang mit den Ausbrüchen vulkanischer Gesteine aufweisen. Die der Kreideperiode folgende Erhebung war überall, wie es scheint, langsam und selbst theilweis rückgängig in der Eocänzeit, und ihre Hauptphase fällt in den zweiten Theil der Tertiärperiode. Eine Reihe von Umständen macht es unzweifelhaft, dass die Beschleunigung der Hebung mit dem Ausbruch der vulkanischen Gesteine in Zusammenhang stand. Allein während früher die Doctrin allgemein war (welche selbst jetzt noch eine Zahl von Anhängern hat), dass die Eruptiv-

gesteine selbst die hebenden Agentien gewesen sind, deutet die Vergleichung der beobachteten Thatsachen darauf hin, dass die Eruption von Gesteinen nur eine begleitende Erscheinung grossartigerer Vorgänge und, so zu sagen, als ihr äusseres Symptom zu betrachten ist. Hebung und Eruption haben eine gemeinsame Grundursache. Sie unterscheiden sich, wie ich zu zeigen suchte, dadurch, dass jene im Wesentlichen eine unmittelbare Folge einfacher planetarischer Vorgänge ist, die Eruption aber ohne die Mitwirkung von Wasser nicht geschehen konnte. Man hat im Gegensatz zu der Hypothese einer Hebung durch Gesteinsausbrüche angenommen, dass die Eruption selbst Senkung verursachen müsse, und wiewohl es sich beweisen lässt, dass die Hebung der Kruste in fast allen Fällen in der Nähe der Ausbrüche vorgewaltet hat, so kann doch kein Zweifel darüber sein, dass Senkung unter ihren complicirten Wirkungen gewesen sein muss, wie wir noch jetzt bei thätigen Vulkanen wahrnehmen. Allein das, was man gewöhnlich als die Ursache der Senkung angesehen hat, kann sie keineswegs erklären. Die Annahme beruht auf der Voraussetzung, dass durch die Eruption ein gewisses Volumen von Silicaten aus der Tiefe verdrängt werde, und dass eine diesem Volumen entsprechende Senkung das Gleichgewicht wieder herstellen müsse. Sie fand anscheinend eine Stütze an der Erfahrung, dass die Umgebung eines Vulkans in den Perioden seiner Thätigkeit sinkt und in den Perioden der Ruhe steigt. Allein die gewöhnliche Grösse der Lavaströme ist verschwindend klein, wenn man sie mit der Senkung eines grossen Landstrichs um mehrere Fusse vergleicht. Wenn überdies die in dem Abschnitt über den Ursprung der Massenausbrüche entwickelten Ansichten richtig sind, so bestehen die Eruptionen überhaupt nur in der Entladung des überschüssigen Volumens, welches keinen Raum in der Spalte hat. Es würde daher kein leerer Raum gebildet werden und die gewöhnlich angenommene Ursache der Senkung nicht existiren. Es giebt indessen zwei andere Ursachen, welche Senkung bewirken können und wahrscheinlich in allen Fällen der Masseneruptionen und vulkanischen Ausbrüche thätig waren. Die erste derselben ist die Zusammenziehung der flüssigen Masse in den Zuführungscanälen durch Wärmeverlust. So lange sie nicht von der durch früher erwähnte Ursachen herbeigeführten Volumenvermehrung aus-

geglichen oder überboten wird, muss sie sich in einem Sinken der ganzen Masse in der Spalte geltend machen. Der Betrag des Sinkens wird bedeutend sein im Verhältniss zur Ausdehnung der Spalte, aber gering im Verhältniss zum Areal eines Gebirgszugs an der Oberfläche. Die Wirkung an der letzteren wird in örtlich beschränkten und schroffen Versenkungen bestehen. Bei Vulkanen ist dieser Vorgang die wahrscheinliche Ursache der Senkung des Kraterbodens nach Ausbrüchen sowie jener selteneren Fälle, wenn ganze Theile eines vulkanischen Kegels einen plötzlichen Einbruch erleiden. In beiden Fällen ist das Versenkungsfeld durch schroffe Mauern begrenzt. Es liegt nahe, die ähnlichen Oberflächenerscheinungen, welche bei grossen Anhäufungen von Eruptivgesteinen häufig vorkommen, dem gleichen Vorgang zuzuschreiben. Es finden sich bei ihnen plötzliche Unterbrechungen der Continuität der Oberfläche, die sich kaum auf eine andere Weise erklären lassen. Dazu gehören meilenlange und eine Höhe von tausende von Fussen erreichende Mauern, kesselförmige oder halbkreisförmig begrenzte Vertiefungen und andere mehr oder weniger schroffe Einsenkungen. Man begegnet diesen eigenthümlichen Gestaltungen der Oberfläche besonders dort, wo weite Strecken einförmig mit Granit, Quarzporphyr oder vulkanischen Gesteinen bedeckt sind.*) Die Wirkung der hier betrachteten Ursache

*) Diese besonderen Gestaltungsformen der Oberfläche sollten zunächst in solchen Gegenden genauer studirt werden, wo sie am deutlichsten ausgeprägt sind, da man sie dann auch dort verstehen lernen würde, wo sie weniger bestimmt hervortreten. Bei vulkanischen Gesteinen trifft man sie in kleinem Maassstab, aber häufig. Es gehören hierher die beckenartigen Vertiefungen in den ungarischen Andesitgebirgen, die nachher, ähnlich den Vorgängen in Krateren, ein hervorragender Schauplatz rhyolithischer Vulkane wurden. Von dem Porphyryplateau von Botzen liessen sich manche Beispiele anführen, besonders von seinem südlichen Theil. Der Kessel von Predazzo ist wahrscheinlich eine auf dem ange deuteten Wege entstandene Einsenkung. Granitische Gebirge haben selten ihre Oberflächenformen unversehrt genug erhalten, um ihre ursprüngliche Gestalt kennen zu lernen. Es giebt vielleicht für ihn kein lehrreicheres und grossartigeres Beispiel, als in dem südlichen höchsten und massigsten Theil der Sierra Nevada geboten wird. Die Abbildung und Beschreibung derselben, wie sie J. D. WHITNEY in dem Report of the Geological Survey of California, Geology, Vol. I gegeben hat, zeigt klar die ungemein interessanten Verhältnisse. Sanftgerundete Kuppen von

wird sich in der Versenkung von Theilen des Eruptivgesteins selbst kundgeben, in der weiteren Umgebung aber wenig bemerkbar sein. Doch sinkt diese, wie bereits erwähnt, während der Thätigkeit eines Vulkans, und in Betreff der Andesitgebirge von Ungarn lässt sich bestimmt erkennen, dass in den Epochen der Massenausbrüche zum Theil Senkung stattgefunden hat. Auf diese Niveauveränderungen bezieht sich die zweite der angedeuteten Ursachen. Wenn nämlich eine Spalte mit heissflüssiger Substanz von unten erfüllt wird, so müssen die sie umgebenden Gesteine erwärmt werden und durch ihre Ausdehnung ein geringes Ansteigen der Oberfläche bewirken. Bei einem Vulkan entweicht ein Theil dieser Wärme hauptsächlich während seiner Thätigkeit durch das Ausströmen von Laven, heissen Wassern und Dämpfen und durch andere Vorgänge. Massenausbrüche müssen mit einer viel bedeutenderen Ableitung der Wärme verbunden gewesen sein. Dass sie von dem Ausstossen ausserordentlicher Mengen heissen Wassers begleitet waren, dafür dürfte die bedeutende Entwicklung der Süsswasserquarze in einigen Gegenden sprechen und die ungeheuere Ausdehnung der Schlammströme. Am Westabhang der Sierra Nevada sind diese so grossartig, dass man ihre Entstehung durch vulkanische Thätigkeit nicht annehmen kann, um so weniger, als kein Vulkan existirt, dem sie entströmt sein könnten. Die Heftigkeit der Solfatarenthätigkeit giebt sich zu erkennen, wenn man in Betracht zieht, dass die Entstehung eines der grössten Silbererzgänge, des Comstock-Ganges in Washoe, nur auf Vorgänge zurückgeführt werden kann, welche die Massenausbrüche des benachbarten Sanidintrachyts begleiteten.*) Wenn nun die Wärmeentziehung durch

concentrisch schaliger Structur sind häufig nur zur Hälfte vorhanden, da vom Gipfel eine halbkreisförmig begrenzte oder kesselförmige Vertiefung mit schroffem Absturz niedersetzt, an dem die convexen Platten absetzen. Die topographischen Aufnahmen von HERN CARL HOFFMANN, in bewunderwürdiger Ausführung kartographisch dargestellt, zeigen die Wiederkehr ähnlicher Verhältnisse in der grössten Mannigfaltigkeit. WHITNEY hat zuerst ihre Erklärung durch örtlich beschränkte Versenkung angeregt, indem er sie für die Entstehung des Yosemite-Thales annahm, das im Granit liegt und von schroffen Felswänden begrenzt wird. Eine von ihnen ist dreitausend Fuss hoch und vollkommen senkrecht.

*) Dargestellt in meinem Aufsatz „the Comstock lode“, San Francisco, 1866.

diese verschiedenen Mittel vor sich geht, so muss die allmälige Senkung der Oberfläche eine nothwendige Folge sein, und sie wird während der Ausbruchperioden am schnellsten geschehen. Dennoch kann nicht geleugnet werden, dass auch diese Ursache nicht zureichend ist, um den ganzen Betrag der Senkung zu erklären, den ausgedehnte Gebiete in der vulkanischen Aera erfahren haben, wenn es auch scheint, dass in keinem Fall die Senkung in der Nachbarschaft der Schauplätze eruptiver Thätigkeit eine andere Wirkung gehabt hat, als den Betrag der Erhebung örtlich zu vermindern.

Einige Beispiele werden genügen, um darzuthun, welche umfangreiche Hebungen im Verlauf der vulkanischen Aera stattgefunden haben, und ihren Zusammenhang mit den anderen dieser Aera eigenthümlichen, gewaltsamen Aeusserungen unterirdischer Kräfte anzudeuten. Ein besonders lehrreiches Beispiel giebt die Gegend zwischen der Küste des stillen Meeres und dem Felsengebirge. Die Arbeiten einiger ausgezeichneten Geologen haben bereits vor längerer Zeit ein oberflächliches Bild von einigen Eigenthümlichkeiten des Gebirgsbaues dieser Gegenden gegeben. Aber erst seitdem durch Professor J. D. WHITNEY und die unter seiner Leitung ausgeführten Aufnahmen von W. H. BREWER, W. M. GABB, CLARENCE KING, J. T. GARDNER und A. RÉMOND einzelne wichtige Gegenden genau untersucht und verschiedene sedimentäre und metamorphische Gebilde ihrem Alter nach mit Sicherheit bestimmt worden sind, ist ein fester Grund gelegt, auf welchem die Kenntniss der gesammten Westküste von Nord-Amerika mit Sicherheit aufgebaut werden kann. Sie schreitet jetzt mit schnellen Schritten vorwärts, und es dürfen von ihr wichtige Beiträge zur Lösung der verschiedenen in diesen Blättern behandelten Fragen erwartet werden. Es scheint in dem beschränkteren Theil des Gebietes, den wir hier betrachten, wie vorher bemerkt, eine sehr frühe granitische Aera existirt zu haben. Die Beziehungen ihrer Granite zu anderen alten Formationen sowie zu den Richtungen der frühesten Erhebungen lassen sich jedoch nicht mehr erkennen, da die Gesteine jener alten Zeiten durch ungeheuere Anhäufungen von paläozoischen Sedimentgesteinen verborgen sind, welche in den senkrechten über fünftausend Fuss tiefen Rissen des Colorado-Flusses in fast ungestörter Lagerung blossgelegt und zuerst durch NEWBERRY'S Forschungen bekannt ge-

worden sind. Denudation hat im grossartigsten Maassstab stattgefunden, hat aber nur an wenigen Stellen vermocht, den alten Granit freizulegen. Ausser am Colorado treten alte Granite auch an mehreren Stellen des Great Basin unter ihrer Bedeckung hervor. Ihre Verhältnisse sind jedoch wenig bekannt. Von grösserer Bedeutung werden sie im Felsengebirge, wo sie mächtig in den Gebirgsbau eingreifen. Paläozoische Formationen scheinen sehr verbreitet zu sein. Doch sind sie nördlich von Colorado in ihrer Lagerung sehr gestört und so stark metamorphosirt, dass ihre Altersverhältnisse schwer entziffert werden können; zum Theil auch sind sie unter jüngeren Formationen verborgen. Erst weiter östlich am grossen Salzsee und an den Flanken des Felsengebirges hat man wieder den Charakter eines Theils der Formationen mit Bestimmtheit zu erkennen vermocht. Eine der interessantesten That-sachen, welche sich bei der geognostischen Aufnahme von Californien und Ausflügen in die östlich angrenzenden Länder ergeben haben, ist die weite Verbreitung von Gesteinen vom Alter der Trias und des Lias, deren Faunen denjenigen der gleichaltrigen Formationen (besonders Keuper und Infra-Lias) in den Alpen entsprechen. Sie beweist, dass damals die ganze Gegend von der californischen Küste bis weit im Osten der Sierra Nevada noch vom Meere bedeckt war, während das Felsengebirge und die westlich daran grenzenden Gegenden schon darüber hervorgeragt zu haben scheinen. In diese Periode fallen die Ausbrüche der Quarzporphyre in der Grafschaft Plumas im nördlichen Californien, nahezu gleichzeitig mit den Eruptionen der gleichartigen Gesteine in den Alpen. Es lässt sich jedoch gegenwärtig noch nicht feststellen, ob dieses Ereigniss mit grossen Veränderungen in der Gestaltung der Oberfläche verbunden gewesen ist. In der Folge dieser Ausbrüche jedoch haben sich Umwälzungen in grossem Maassstab ereignet. Denn es scheint, dass die Ausbrüche des Granits, welche wahrscheinlich jurassisch waren, die ganze Gegend vom Westabhang der Sierra Nevada bis zum Ostabhang des Felsengebirges über das Meeresniveau erhoben und die Lagerung der Schichtgebirge gestört haben. Mächtigere Aenderungen aber scheinen diesen massenhaften Ausbrüchen gefolgt zu sein. Sie waren wahrscheinlich grossentheils das Resultat eines durchgreifenden Metamorphismus, der mit den Eruptionen des Granits in offen-

barem Zusammenhang gestanden hat und den Gesteinscharakter der Sedimente bis hinauf zu den liassischen vollständig umänderte. Zur Zeit als die ersten Ausbrüche vulkanischer Gesteine stattfanden, welches wahrscheinlich in der Miocän-Periode geschah, waren alle jene Schichtgesteine bis hinauf zum Lias, welche die Sierra Nevada zusammensetzen, steil aufgerichtet und zusammengefaltet; das „Great Basin“ zwischen der Sierra Nevada und dem Felsengebirge war mit ausgedehnten Salzseen bedeckt. Allein die Erhebung dieses Hochlandes über den Meeresspiegel war, sowie die der Sierra Nevada und des Felsengebirges unbedeutend im Verhältniss zu ihrer jetzigen Höhe. Dies wird durch die Thatsache bewiesen, dass damals bedeutende Ströme ihre Betten an dem jetzigen Westabhang der Sierra Nevada parallel zur Linie ihres Kammes hatten, was bei dem gegenwärtigen Neigungswinkel eine Unmöglichkeit sein würde. Es sind diese Flussbetten, welche den grössten Theil des californischen Waschgoldes geliefert haben. Wo jetzt der mächtige Gebirgszug sich erhebt, war damals eine hügelige, allmählig nach Osten gegen die mit Salzseen bedeckte Fläche des Great Basin ansteigende Landschaft. Die ersten Ausbrüche vulkanischer Gesteine fanden diese Flüsse noch in ihren dem Gebirge parallelen Betten. Dies beweisen die Tuffschichten, welche an den höchsten Flussablagerungen theilnehmen und die vorher gebildeten Schotterbänke bedecken. Aber nach dem Anfang der vulkanischen Aera ereigneten sich grosse Veränderungen, so gross, dass sie wahrscheinlich mehr dazu beitrugen, dem westlichen Nord-Amerika seine jetzige Oberflächengestalt zu geben, als alle, welche durch ungleich längere Perioden vorhergegangen waren. Heftige eruptive und vulkanische Thätigkeit fand in einer ausgedehnten Zone statt, welche ihre grösste Breite zwischen der californischen Küste und dem Felsengebirge hatte. In diese Zeit fällt zweifellos der Hauptbetrag der Erhebung des Hochlandes zwischen dem letzteren und der Sierra Nevada, welches jetzt eine Meereshöhe von 4000 bis 6000 Fuss hat. Der Kamm der Sierra Nevada muss sich schneller erhoben haben als ihr westlicher Fuss, da deutliche Spuren hinterlassen sind, dass die Flüsse ihre dem jetzigen Fuss des Gebirges zugewendeten Ufer erst an einer, dann an einer anderen und so fort an verschiedenen Stellen überflossen und sich mit ihren Schottermassen an dem Gebirge

hinab ergossen, dann wieder eine Richtung parallel dem Gebirge einschlugen, später auch aus dieser durch Ueberfließen des Ufers nach dem Fuss des Gebirges verdrängt wurden, und so ein stufenweise fortschreitender Umschwung der Verhältnisse herbeigeführt wurde, der nur durch ein langsames Anwachsen der Neigung des Gebirgsabfalls erklärt werden kann. Die Schotterablagerungen, welche der californische Goldwäscher allenthalben der Beobachtung blossgelegt hat, erzählen deutlich die Geschichte dieser allmäligen Veränderungen während der vulkanischen Aera. Das Endresultat war, dass ein ganz neues System von Wasserläufen rechtwinklig gegen das frühere vom Kamm gerade hinab nach dem Fuss des Gebirges und quer gegen die Streichrichtung aller Formationen, welche an dem Bau des letzteren theilnehmen, geschaffen wurde. Diese Flüsse haben ein steiles Gefälle, und, ungleich den sanften Formen der alten Flussbetten, haben sie sich in steilen Schluchten, oft über zwei tausend Fuss tief in die Gesteine eingegraben und lassen hoch oben auf den trennenden Rücken die von vulkanischen Tuffen bedeckten Ueberreste der ehemaligen Flussbetten mit ihrem Goldreichtum.

Es fehlt nicht an entsprechenden Beobachtungen in dem Felsengebirge, um für den östlichen Theil des Hochlandes ähnliche Belege zu liefern wie für den westlichen und zu beweisen, dass das ganze Plateau zwischen Felsengebirge und Sierra Nevada, sowie die Kammhöhe dieser Gebirge (8000 Fuss im ersteren, von 6000 bis 12000 Fuss in letzterer) und ihre Abfälle gegen die Küste des stillen Oceans und das Thal des Missouri ihre Hebung zum bei Weitem grösseren Theil den Vorgängen in der vulkanischen Aera verdanken. Was aber für diesen an Breite und Massenhaftigkeit am grossartigsten entwickelten Theil des Andesgebirges gilt, findet wahrscheinlich seine Anwendung für den gesammten Zug der Erhebungen entlang der Westküste von Amerika. Ja es scheint, dass die Vereinigung des Gebirges als Ganzes aus vorher getrennten Theilen, die in Central-Amerika vom Meer durchschnitten waren, hauptsächlich den Vorgängen in der vulkanischen Aera zugeschrieben werden muss, wiewohl die granitischen Ausbrüche, welche wahrscheinlich gleichzeitig mit denen der Sierra Nevada in anderen Theilen der Anden stattgefunden haben, dieselben vorbereitet haben mögen. Ein eigenthümlicher Unterschied in

der Modalität der Niveauveränderungen hat offenbar zwischen der Meeresküste und dem ihr so nahe liegenden Gebirgszug existirt. Es scheint, dass jene nur wenigen bleibenden Veränderungen, wohl aber zahlreichen periodischen Oscillationen ihres Niveaus unterworfen gewesen ist, während die grosse Erhebung der Käme und Hochflächen besonders dem Umstand zuzuschreiben ist, dass dort die Veränderungen vorwaltend in gleichem Sinne, als Massenerhebungen sich bethätigend, stattgefunden haben. Daher ist der Abfall der Anden nach Westen steiler und steiler geworden und das Küstenland stets schmal geblieben. Es scheint, dass ihr entlang die Grenze eines untermeerischen Senkungsfeldes und einer Hebungszone verläuft, eines den Aeusserungen des Vulkanismus wenig ausgesetzt gewesen und eines von ihm besonders behafteten Abschnittes der Erdrinde. Ganz anders verhält es sich am östlichen Abfall der Andes. In beiden Theilen des Welttheils haben dort langsame continentale Hebungen stattgefunden, welche seit Anfang der vulkanischen Aera die östlichen Gebirge den Anden durch jene weiten Niederungen verbunden haben, welche die ungemaine Productionsfähigkeit von Nord- und Süd-Amerika wesentlich bedingen.

Aehnliche, wiewohl weniger augenfällige Verhältnisse bietet Europa. Wir können uns hier nur darauf beschränken, einige allgemeine Thatsachen anzuführen. Grosse Niveauveränderungen hatten auf diesem Continent während der porphyrischen Aera und in ihrer unmittelbaren Folge stattgefunden. In Mitteldeutschland, wo die porphyrischen Ausbrüche in der Zeit des Rothliegenden culminirten, scheint der Anfang der Triasperiode die wiederingetretene Ruhe zu bezeichnen, während in den Alpen, wo diese Eruptionen in die Triasperiode hineinflühen, auch die Schichten des unteren Lias noch an den Aufrichtungen und Erhebungen theilgenommen haben, welche die porphyrische Aera begleiteten und ihr unmittelbar folgten. Dann trat auch hier eine Periode verhältnissmässig geringer Aenderungen ein, deren erster Theil grossentheils durch Senkungen bezeichnet war, während erst in der zweiten Hälfte der Eocänzeit jene erneuten Hebungen allgemein waren, welche später so viel zur Gestaltung dieses Gebirges beitrugen. Betrachten wir die Zwischenzeit zwischen der porphyrischen und vulkanischen Aera, so waren überall in Europa die allmähigen

Aenderungen durch Hebungen und Senkungen und in Folge dessen die Aenderungen der Grenzen von Land und Meer unbedeutend im Verhältniss zur Länge der Zeit, und obgleich grossartig in ihrem Gesamtbetrag, scheinen sie doch weit hinter denen zurückzustehen, welche in der verhältnissmässig kurzen Periode seit der Wiedereröffnung eruptiver Thätigkeit durch den Propylit stattgefunden haben. Allerdings sind keine neuen Gebirgsketten von Bedeutung seitdem entstanden. Es wurden wohl kleine Bergzüge ausschliesslich aus vulkanischem Material aufgebaut, und es fanden Faltungen von Sedimentformationen in ausgedehnten Gebieten statt und schufen hügeliges Land. Aber die Hauptgebirge hatten alle vorher schon bestanden und erfuhren nur eine bedeutende Vermehrung ihres Volumens, und es scheint, dass diejenigen, welche jetzt die höchsten sind, unter allen den grössten Zuwachs an Erhebung in der vulkanischen Aera erhalten haben. Die Grösse der Hebung eocäner und miocäner Schichten, welche in den Alpen und anderen Hauptgebirgen stattgefunden hat, beweist dies hinreichend, während andererseits die Art des Auftretens dieser Formationen den Schluss erlaubt, dass der centrale Theil der Alpen eine ungleich bedeutendere Erhebung erfahren hat als die nördlichen und südlichen Vorberge. Vergleicht man die Lagerung der eocänen mit der der Jura- und Kreideschichten, so zeigt sich, dass die Gesamtheit der letzteren nicht nur in den Alpen, sondern allgemein in Europa nur wenig mehr allgemeine Hebung und Schichtenbiegung erfahren hat als die Eocängebilde. In den Hebungszonen der vulkanischen Aera bilden jene gewöhnlich Gebirge mit diesen zusammen, und es dürfte daher der Schluss gerechtfertigt sein, dass wenigstens in diesen Zonen die Haupterhebung der Jura- und Kreideschichten in der vulkanischen Aera stattgefunden hat.

Die Wirkungsweise hebender Bewegungen in der vulkanischen Aera war eine zweifache. Wir mögen Gebirgserhebungen und continentale Erhebungen unterscheiden, entsprechend den angeführten Niveauveränderungen in den Anden und den östlich angrenzenden Gegenden. Die ausgedehnte Erhebung der Gebirge, welche sich an dem Südfuss der Alpen (gegen Südosten) anschliessen und sich durch die welligen Aufbiegungen der Numulitengebilde auszeichnen, die Fortsetzung ähnlicher Verhältnisse durch die türkische Halbinsel, Kleinasien,

Armenien und Persien bis zum Himalaya zeigt, dass in der gesammten Zone zwischen Alpen und Himalaya in der vulkanischen Aera eine ausgedehnte Beförderung der Gebirgsbildung stattgefunden hat, die sich auch westlich gegen die Pyrenäen verfolgen lässt. Innerhalb dieser Zone haben die beiden Hauptgebirge die grösste Hebung erfahren, während die ganze Gebirgszone, zu der sie gehören, selbst wieder nur das Verbreitungsgebiet der grössten Intensität hebender Kräfte innerhalb einer viel weiter verbreiteten continentalen Erhebungsregion bezeichnet. So gering verhältnissmässig der Betrag der Veränderung im Niveau der grossen Landstrecken zu beiden Seiten der Centralzone ist, so ist sie doch in ihrem Gesamtergebnis für die Gestaltung der Oberfläche des Planeten von grösserer Bedeutung gewesen als die erwähnten Gebirgserhebungen. Denn sie verursachte einen grossen Zuwachs continentaler Ausdehnung in gewissen Richtungen. Es ist bekannt, dass das Meer, das zu Anfang der vulkanischen Aera bis jenseits Wien im Donauthal hinaufreichte, beide Abhänge der Karpathen bespülte und seine Ufer an den westlichen und nördlichen Abhängen der Hochländer Asiens hatte, sich seitdem bedeutend zurückgezogen hat und dass säculare Hebungen im nördlichen Afrika, Arabien und Kleinasien seitdem auch dort eine beträchtliche Vergrösserung continentaler Erstreckung veranlasst haben.

So viel Zeit ist in den meisten Gegenden seit den Hauptphasen der vulkanischen Aera vergangen, dass die Einwirkung der ihr zugehörigen Vorgänge auf Hebungen und Senkungen wahrscheinlich nachgelassen hat. Periodische und partielle Senkungen scheinen seit Anfang jener Aera auf allen Hebungsfeldern stattgefunden zu haben. Aber da ihr Gesamtbetrag geringer war als der der Hebung, so ist letztere fast allenthalben die Resultante der beiden Bewegungen gewesen. Erst in den jüngsten Zeiten scheinen Senkungen von grösserem Belang im Gebiet des Mittelmeeres und in den nördlichen Theilen der Hebungszone den Betrag jenes Gesamtergebnisses stellenweise vermindert zu haben. Aber selbst jetzt sind ganz allgemein auf der Erde in überwiegendem Maass jene Gegenden in langsamer Hebung begriffen, welche sich durch eruptive Thätigkeit in der vulkanischen Aera ausgezeichnet haben.

Diese wenigen Beispiele, so skizzenhaft wir sie hier nur

entwickeln konnten, werden genügen, um anzudeuten, wie gross die Veränderungen sind, welche die Erdoberfläche in Beziehung auf ihre Reliefformen seit dem Anfang der vulkanischen Aera erfahren hat, und um wie viel diese Vorgänge diejenigen übertriffen zu haben scheinen, welche in ungleich längeren Zeiträumen zuvor in derselben Beziehung stattgefunden hatten. Man darf aus den über den Gegenstand bekannten Thatsachen folgern, dass die säcularen Niveauveränderungen während der vulkanischen Aera und vielleicht schon seit einer Zeit, welche ihr zunächst voranging, in beschleunigtem Maasse geschahen, und dass die Hebungen wesentlich auf gewisse Zonen von grosser Ausdehnung beschränkt waren, deren Areal zu gleicher Zeit in der Mehrzahl der Fälle als Schauplatz eruptiver Thätigkeit vor benachbarten Gebieten ausgezeichnet war. Allein das Letztere gilt nicht allgemein, da vulkanische Gesteine gerade in einigen Kettengebirgen, welche die grossartigste Hebung erfahren haben, gänzlich fehlen. Wenn wir daher den Ursachen der Hebungen nachforschen, welche in der vulkanischen Aera stattgefunden haben, so ist einerseits ihr Zusammenhang mit der Ausbruchsthätigkeit nicht zu verkennen, während es andererseits Bedingungen geben muss, unter denen auch bei Abwesenheit der letzteren besonders grossartige Hebungen vor sich gehen können.

Was die ersten Fälle betrifft, so liegt es nahe, die Analogie in Betracht zu ziehen, welche in kleinerem Maassstab das Verhältniss der gegenwärtigen Vulkane zu den Hebungen und Senkungen der umliegenden Gegenden bietet. Beiderlei Bewegungserscheinungen pflegen in der nächsten Umgebung eines Vulkáns häufiger zu wechseln und intensiver zu sein als in weiter abgelegenen und gegenwärtig nicht vulkanischen Gebieten. Einige der wahrscheinlichen Ursachen, welche diesem häufigen Wechsel zu Grunde liegen, haben wir bereits im Vorhergehenden betrachtet. Es mögen dabei aber noch manche andere Umstände mitwirken, welche wir noch nicht kennen. Es liegt nahe zu vermuthen, dass in ähnlichem Verhältniss, als die Masseneruptionen grossartiger gewesen sind als die thätigen Vulkane, auch die ihnen verbundenen Veränderungen bedeutender gewesen sein werden. Allein es wäre falsch, zu schliessen, dass dieselben einem gleichartigen Wechsel in Betreff der Ausbruchsphasen unterworfen gewesen sein müssen

wie bei den Vulkanen, oder dass sie auf gleichen Vorgängen beruht haben. Denn wenn auch dieselben Ursachen, welche die Erscheinungen der Hebung und Senkung in der Umgebung von Vulkanen veranlassen, mit grosser Wahrscheinlichkeit unter denen gewesen sind, welche bei den Massenausbrüchen in Wirkung traten, so lässt doch die abweichende Natur der letzteren schliessen, dass bei ihnen planetarische Vorgänge mitgewirkt haben, welche zu den Vulkanen nur in einer mittelbaren und entfernten Beziehung stehen. Gehen wir nun auf die bereits an einer anderen Stelle entwickelten Schlussfolgerungen in Betreff des Wesens und der Ursachen der Ausbruchserscheinungen zurück, und sehen wir, in wie weit sie die mit den letzteren verbundenen Niveauveränderungen zu erklären vermögen. Wir wiesen dort darauf hin, dass die Bildung von solchen Spaltensystemen in der Erdkruste, durch welche flüssige Massen empordringen konnten, nur zu gewissen Zeiten in der Geschichte jeder Gegend geschah, dass die Epochen dieser bedeutenden mechanischen Kraftäusserungen durch Perioden der Ruhe getrennt waren, und dass mit der fortschreitenden Entwicklung der Erde die Spaltungsgebiete gestreckter in der Gestalt und ausgedehnter im Areal wurden, während zugleich die Perioden der Ruhe an Länge zunahmen. Wir suchten dann zu zeigen, wie nur die allmälige Ansammlung einer Spannkraft nach aussen während der letzteren Zeiträume diesen periodischen Charakter der Erscheinungen zu erklären vermag, und wie die Ursache solcher Anhäufung von potentialer Kraft in der Volumenvermehrung der zähflüssigen Masse durch langsame und vollkommene Krystallisation zu suchen sei, wie dann die Ausbrüche selbst ihre wahrscheinliche Erklärung darin finden, dass erhitzte Massen am Grunde der Spalten in den Zustand wässriger Schmelzung übergeführt wurden und eine abermalige, sehr bedeutende Volumenzunahme erfuhren. Es ergab sich als eine nothwendige Folge der Spaltenbildung selbst, dass der Widerstand der Spannung, in welcher sich die zähflüssigen Massen befunden hatten, um eine bedeutende Grösse vermindert wurde, und dass, während der Druck vorher Massen von ungeheurer Ausdehnung unter ihrer Erstarrungstemperatur zähflüssig erhalten hatte, nun seine Verminderung eine weitgreifende und beschleunigte Krystallisation und damit beschleunigte Volumenzunahme, das heisst beschleunigte Hebung ver-

ursachen musste. Es ist selbstverständlich, dass diese Beförderung der Hebung bis auf weite Entfernung von jeder Spalte stattfinden und sich über die Grenzen einer Spaltenzone hinaus erstrecken konnte. Insofern die Spalten die unmittelbaren Canäle für die Massenausbrüche waren und mittelbar die Verbreitung der vulkanischen Thätigkeit bestimmten, waren es die Ausbruchszonen insbesondere, wo beschleunigte Hebung stattfinden musste. Wenn dann durch die Reihe der oben als wahrscheinlich dargestellten Vorgänge die Aufspaltungen in successiven Epochen der nach der Tiefe vordringenden Krystallisation der Massen folgten und selbst in grössere Tiefen hinabreichten, die Eruption basischer Gesteine und zuletzt der Basalte veranlassend, so musste sich dieser Wechsel der Aeusserungsweise des Vulcanismus in den Phasen der Intensität der Hebung widerspiegeln. Epochen beschleunigter Hebung mussten mit solchen eines langsameren Ansteigens wechseln und konnten selbst durch periodische Senkung unterbrochen werden. Die Mannichfaltigkeit der Erscheinungen musste in den Umgebungen der Spalten am grössten sein, weiter ab von ihnen aber sich in stetigerer Bewegung nach einer Richtung bekunden. Diese Theorie erklärt insbesondere, weshalb die basaltische Epoche mit einer erneuten und wahrscheinlich weit ausgedehnteren Hebung verbunden war, als diejenige war, welche ihr vorherging.

Müssen wir auch diesen Vorgang als die Grundursache der Hebungen betrachten, welche den Ausbruchserscheinungen verbunden gewesen sind, so war er doch sicher nicht ihre einzige Ursache. Es kann kein Zweifel darüber sein, dass auch der Metamorphismus eine bedeutende Rolle dabei gespielt hat. Keine uns bekannten Vorgänge vermögen in ähnlicher Weise die Bedingungen des Metamorphismus zu schaffen, soweit wir dieselben kennen, als diejeuigen, auf deren Annahme uns die Betrachtung des Ursprungs der Ausbruchsgesteine mit Nothwendigkeit führt, mögen dieselben durch die Schlünde von Vulkanen emporgedrungen oder das Product von Spaltenergüssen sein. Bei Vulkanen und den mit ihnen zusammenhängenden Vorgängen (wie Solfataren und heisse Quellen) beobachten wir in der That selbst an der Erdoberfläche die heftigsten metamorphischen Erscheinungen, welche sich gegenwärtig der unmittelbaren Beobachtung darbieten. Wir dürfen

daraus schliessen, dass in der Tiefe unter bedeutendem Druck und bei höherer Temperatur ein weit intensiverer Metamorphismus in der Nähe der Ausflusscanäle und an Heerd der vulkanischen Thätigkeit stattfinden muss. Auch in dieser Beziehung wiederum fordert das grössere Phänomen der Massenausbrüche die Annahme einer grösseren Intensität und Ausbreitung der von ihnen abhängigen Erscheinungen, und das Bestehen ursächlicher Wechselbeziehungen solcher Art wird durch die stete Begleitung metamorphischer Gesteine durch ältere Ausbruchsgesteine beinahe endgiltig bewiesen. Es wird mit gutem Grund angenommen, dass Erhebung durch Volumenvermehrung in Folge des Eindringens von Wasser in die Zusammensetzung der Gesteine und ihrer Krystallisation eine nothwendige mechanische Wirkung metamorphischer Vorgänge sein müsse. Die Hebungen der Gebiete von Ausbruchsgesteinen müssen daher durch den Metamorphismus eine fernere Beschleunigung erfahren.

Während so die Hebung von Verbreitungszonen der vulkanischen Gesteine eine natürliche Erklärung in denselben Ursachen findet, welche die erste Aufspaltung veranlassten, und der durch Spaltenbildung und Ausbrüche veranlasste Metamorphismus eine weitere Beschleunigung der Hebung mit sich bringen musste, bleiben anscheinend jene Fälle weit intensiverer örtlicher Hebung unerklärt, welche einige der mächtigsten Kettengebirge, wie die Alpen und der Himalaya, die an vulkanischen Gesteinen frei sind, in der vulkanischen Aera erfahren haben. Die ersteren und wahrscheinlich auch der Himalaya hatten vorher ihre bedeutendste Hebung in der porphyrischen Aera und unmittelbar nachher erhalten, tragen aber nur in geringem Grad die Spuren von Hebungen in den darauf folgenden Perioden. Die Beschleunigung ihres Ansteigens in der vulkanischen Aera scheint noch weit bedeutender gewesen zu sein als selbst bei den Anden. Das Zusammentreffen beider Vorgänge in einer Zeit, welche sich auf beiden Continenten durch heftige Ausbruchsthätigkeit auszeichnete, lässt darauf schliessen, dass ein innerer Zusammenhang aller dieser Erscheinungen stattfand.

Betrachten wir die grosse Erhebungszone, von welcher die Alpen und der Himalaya die mächtige Axe bilden, so besteht sie aus drei Gürteln. Der mittlere derselben begreift

jene beiden Hochgebirge und die continuirliche breite Gebirgszone, durch die sie verbunden sind, und welche hauptsächlich in der vulkanischen Aera ihre Gestaltung erhalten hat. Die beiden Hochgebirge sind frei von vulkanischen Gesteinen. Dasselbe gilt für den centralen Theil der südöstlichen Ausläufer der Alpen und, wie es scheint, der westlichen Ausläufer des Himalaya. Je weiter man in der türkischen Halbinsel nach Osten vordringt, desto bedeutender werden die Zeichen ehemaliger Ausbruchsthätigkeit, wie sie von Serbien und Bulgarien im Norden, von Epirus, Macedonien und Thracien im Süden bekannt sind. In ähnlicher Weise mehren sie sich in westlicher Richtung vom Himalaya über das armenische Hochland gegen Kleinasien hin. Betrachtet man die Eigenthümlichkeit in der Verbreitung der jetzt thätigen Vulkane, dass sie sich dort besonders anhäufen, wo Continente in Spitzen auslaufen und sich zu verbinden streben, so ist in jener Gegend durch die Verbreitung der Ausbrucherscheinungen früherer Zeit ein Fall gegeben, welcher nahe Analogie bietet. Die Gebirgswelt der Alpen und die Gebirgswelt des Himalaya, vor der Tertiärzeit getrennt, wurden in ihr durch allmälige Gebirgserhebungen verbunden. Die gleichzeitige Ausbruchsthätigkeit war entfernt von der Hauptaxe, wo diese vorher als Gebirge existirt hatte, und nähert sich ihr von beiden Seiten, wo die Verbindung angestrebt wurde, nimmt dann mehr und mehr zu und culminirt in jener Gegend, wo die Verbindung vermittelt wurde. Alle Ausbruchsthätigkeit dieses mittleren Gürtels mit ihren Masseneruptionen und ihrer vulkanischen Thätigkeit ist erloschen.

Nördlich von diesem Gürtel ist ein anderer, der sich in seiner ganzen Länge durch die Intensität seiner Ausbrucherscheinungen während der vulkanischen Aera auszeichnete. Er erstreckt sich vom mittleren Asien über das caspische Meer, den Kaukasus, die Krim, die Karpathen und in Verzweigungen durch das mittlere Deutschland bis nach dem mittleren Frankreich. In dem europäischen Theil dieses Gürtels sind nur noch schwache Nachwehen der vulkanischen Thätigkeit vorhanden, während sie sich im asiatischen Theil energischer zu erkennen geben. Ein anderer durch Ausbruchsthätigkeit in der Tertiärzeit nicht minder ausgezeichneter Gürtel begleitet die Hauptaxe im Süden. Er durchzieht Vorderindien und ver-

bindet sich im bengalischen Meerbusen mit der Vulkanenwelt der hinterindischen Inseln, setzt dann nach Westen über Arabien, Syrien, Palästina nach dem Mittelmeer fort, umfasst hier die noch thätigen Vulkane des griechischen Archipels und Unteritaliens und ist durch die vulkanischen Gesteine von Sardinien und Südspanien den Azoren verbunden. In diesem Gürtel setzen die letzten Reste vulkanischer Thätigkeit noch fort, aber ihre Hauptphasen und die Massenausbrüche gehören einer vergangenen Zeit an.

Das ganze von diesen drei Gürteln eingenommene Gebiet ist als ein grosses Hebungsfeld der vulkanischen Aera zu betrachten, und man kann sagen, dass es im Grossen und Ganzen durch eine erhebliche Verbreitung tertiärer Ausbruchsgesteine charakterisirt ist. Es ist jedoch klar, dass der Hebungsbetrag in verschiedenen Theilen verschieden gewesen ist, und wir finden die merkwürdige Thatsache, dass trotz des offenbaren Zusammenhanges, welcher zwischen dem Vorhandensein der Eruptivgesteine und der mit ihrer Erscheinung an der Oberfläche beschleunigten Hebung des ganzen Gebiets stattfindet, doch jene Theile, welche sich am meisten durch eruptive Thätigkeit ausgezeichnet haben, keineswegs am höchsten erhoben worden sind. An den Abfällen einiger der bedeutendsten Gebirgketten (zum Beispiel am südlichen Fuss der Pyrenäen, der Alpen und des Himalaya, am Südabhang der Karpathen, am Rand der norddeutschen Ebene) finden sich vulkanische Gesteine in Niederungen, und dort, wo sich die einzelnen Züge von Ausbruchsgesteinen, welche den drei Gürteln angehören, zu einem zusammenhängenden Ausbruchsgelände verbinden (Klein-Asien, türkische Halbinsel, griechischer Archipel, schwarzes Meer), und wo wahrscheinlich (nächst dem Dekkan) die ausgebreitetsten Ablagerungen von vulkanischen Gesteinen innerhalb der ganzen Zone sind, ist die Gebirgserhebung weit geringer als im Balkan und im persischen Gebirge. Dagegen hat, wie wir vorher bemerkten, kein Theil innerhalb des grossen Hebungsgeländes eine ähnliche Beschleunigung der Hebung während der vulkanischen Aera erfahren, als gewisse Kettengebirge, welche schon bei ihrem Beginn als solche vorhanden waren, und unter denen die Alpen, die Pyrenäen und der Himalaya weitaus die bedeutendsten sind. Sie sind, soweit die Untersuchungen gehen, frei von vulkanischen Gesteinen. Es

kann also bei ihnen kein Zusammenhang zwischen Hebung und Gesteinsausbrüchen stattgefunden haben. Dies schliesst aber keineswegs die Möglichkeit eines Zusammenhanges zwischen der beschleunigten Hebung und den den Ausbrüchen zu Grunde liegenden Kräften aus. Ist die durch Volumenvermehrung verursachte Spannkraft die wesentlichste unter ihnen, so lässt sich das scheinbar Abnorme der Erscheinung erklären. Es ist darauf hingewiesen worden, dass die Niveauveränderungen zum Theil von der Bildung solcher Spalten in der Erdrinde begleitet sein müssen, welche an der Erdoberfläche geschlossen sind. Dass solche Spalten vor Allem dort gebildet worden sind, wo Kettengebirge wesentlich aus metamorphischen Gesteinen bestehen, wird durch die verticalen Verschiebungen wahrscheinlich gemacht, welche die Theile solcher Gebirge in paralleler Richtung zu ihrer Axe oder im Winkel dagegen erfahren, und welche tausende von Fussen betragen. Längsverwerfungen sind besonders häufig. Die Thatsache, dass solche Spalten, wenn sie am Fuss von Gebirgen auftreten, eine geologische Grenze für alle Erscheinungen des Vulcanismus zu bilden pflegen, deutet darauf hin, dass sie in grosse Tiefe hinabreichen. Noch sind diese Verwerfungen wenig untersucht. Doch ist es wahrscheinlich, dass ihre Bildung mit den Perioden grösster Hebung zusammenhängt, in den Alpen also in der vulkanischen Aera stattgefunden hat. Der Grund, dass diese Spalten dem Gesteinsmaterial keinen Ausweg verschafft haben, ist vielleicht darin zu suchen, dass die metamorphischen Vorgänge eine Plasticität des die Spalten umgebenden Gesteins und einen Verschluss derselben bis in grosse Tiefe bedingten. Im Uebrigen aber ist kein Grund vorhanden, anzunehmen, dass die Spalten dieser Art sich in den tieferen Theilen anders verhielten als diejenigen, durch welche Ausbrüche stattfanden. Auch in ihnen mochten durch wässrige Schmelzung flüssig gewordene Massen von der Tiefe aufsteigen und erst in den oberen Theilen dem Widerstand des Verschlusses der Spalte begegnen. Gehen wir noch einmal darauf zurück, dass die erste Bildung der Spalten durch die Wirkung einer nach aussen gerichteten Spannkraft veranlasst wurde, so musste in allen Fällen der Theil des Widerstandes überwunden werden, den die Cohäsion der festen Erdrinde geboten hatte, gleichviel ob der Spaltenbildung ein Ausströmen von Gesteinsmassen an die

Oberfläche folgte oder nicht. Während aber im ersteren Fall viele begleitende Vorgänge der Hebung entgegenwirkten, konnte im letzteren beinahe das Gesamtmoment der Spannkraft in der Tiefe und der durch die begleitenden Vorgänge entwickelten Kräfte in äussere Arbeit verwandelt werden und sich fast ausschliesslich in Hebung bekunden. Die Volumenvermehrung durch Krystallisation der Massen in der Tiefe, die Bildung neuer Spalten, welche in anderen Gegenden die basaltischen Ausbrüche nach sich zogen, die durch die Verminderung des Drucks abermalig beschleunigte Krystallisation, alle diese Prozesse mochten sehr bedeutend auf die Hebung einwirken. Die Bedingungen der Wärmeentziehung durch das Ausströmen von heissflüssigen Silicaten, Dämpfen und Wasser waren nicht oder nur in sehr geringem Grade vorhanden. Besonderes Gewicht aber ist wohl darauf zu legen, dass in diesen Fällen die Vorgänge des Metamorphismus in der Tiefe in weit grösserem Maassstab stattfinden und sich in entsprechend intensiverer Weise in Hebung darthun konnten. Gase und überhitztes Wasser blieben grösstentheils in der Tiefe gebunden und mussten dort für die genannten Wirkungen verwendet werden. Wir erwähnten an einer anderen Stelle, dass es Vorgänge ähnlicher Art gewesen sein mögen, durch welche gleichzeitig mit beschleunigter Hebung schon in früher Zeit jene Granitkeile gebildet wurden, welche von breiten Zonen metamorphischer Gesteine umgeben sind und mit diesen vorwaltend solche Gebirge zusammensetzen, welche auch in der vulcanischen Aera nur selten der Schauplatz von Gesteinsausströmungen gewesen sind. Es waren bei dem Eindringen erhitzter flüssiger Massen in oben geschlossene Spalten alle Bedingungen für die grossartigste Entwicklung jener mannichfaltigen Vorgänge des hydroplutonischen Metamorphismus gegeben, welche die Versuche und geistvollen Schlussfolgerungen DAUBRÉE's wahrscheinlich gemacht haben.

Sehen wir von diesen theoretischen Betrachtungen ab, und vergleichen wir nur die verschiedenen bisher erwähnten That-sachen, welche sich auf die seit dem Anfang der vulcanischen Aera geschehenen Niveauveränderungen beziehen, so müssen wir annehmen, dass sie hinsichtlich der ihnen zu Grunde liegenden Ursachen in innigem Zusammenhang mit den anderen Vorgängen stehen, durch welche sich diese Aera von vorher-

gehenden Perioden ausgezeichnet hat. Hebung und eruptive Thätigkeit, selbst wenn örtlich nicht ganz zusammenfallend, sind coordinirte Wirkungen der Abkühlung der Erde; aber während erstere im Wesentlichen ihre unmittelbare Wirkung ist, ist es die andere nur mittelbar, das heisst, sie kann nur geschehen, wenn andere Umstände, wie die Oeffnung der Spalten an der Oberfläche und der Zutritt des Wassers nach der Tiefe, ihr günstig sind. Wie es nun in der Geschichte der eruptiven Thätigkeit gewisse Phasen giebt, welche von der Entwicklung des Erdballs abhängen und den Fortschritt derselben beweisen, so lassen sich auch bestimmte Phasen in der Aeusserungsweise der hebenden Kräfte erkennen. In denjenigen Hebungen, welche während der vulkanischen Aera stattfanden, kann man gewisse charakteristische Merkmale wahrnehmen. Es wurden in ihr die absolute Höhe und das Volumen gewisser Kettengebirge erhöht, welche innerhalb der vulkanischen Zonen gelegen waren, gleichgerichtete und auf einer Linie gelegene Gebirgszüge wurden longitudinal vereinigt; parallele und neben einander liegende aber wurden zu Hochländern verbunden; die entgegengesetzten Enden continentaler Hauptketten, welche zwar eine ungefähr parallele Richtung hatten, aber weder auf einer Linie, noch einheitlich neben einander gelegen, sondern (wie die Alpen und der Himalaya) longitudinal weit von einander entfernt waren, wurden durch die Bildung breiter welliger Gebirgsländer mit intensiver Ausbruchsthätigkeit verbunden, und endlich wurden grosse Landstrecken, welche vorher unter dem Meer versenkt waren, über dasselbe emporgehoben und dadurch entfernte Gebirge durch ausgedehntes Flachland verbunden, die Continente vergrössert und ihre Umrisse vereinfacht. Diese Art der Formveränderungen der Oberfläche des Planeten war wahrscheinlich eine in grossem Maassstab stattfindende Wiederholung der Art, in der sie in früherer Zeit vor sich gegangen waren. Es ist hier nicht der Raum, die Grundzüge ihres allmäligen Fortschrittes zu entwerfen. Aber in dem ganzen Verlauf dieser Veränderungen, wie sie während der einzelnen Phasen eruptiver Thätigkeit stattfanden, giebt sich ein Streben zu erkennen, das, was vorher unverbunden war, nach gewissen Richtungen zu verbinden, gewisse Züge höchster Erhebung bestimmter hervortreten zu lassen, zu verlängern und zu erhöhen, während mehr und mehr andere

Höhenzüge von diesem dauernden Zuwachs ausgeschlossen wurden, die Felder säcularer Hebung an Ausdehnung und Bestimmtheit der Umrisse zunehmen zu lassen und sie von den ebenfalls in beiden Richtungen fortschreitenden Senkungsfeldern zu trennen. Es lässt sich sogar eine Entwicklung nach diesen verschiedenen Richtungen vom Anfang der vulkanischen Aera nach ihrem Ende hin wahrnehmen; denn die der basaltischen Epoche verbundenen Vorgänge hatten eine weitere Verbreitung und allgemeinere Vertheilung innerhalb der vulkanischen Zonen als diejenigen der propylitischen und andesitischen Epochen. In Europa besonders ist der Zuwachs continentaler Ausdehnung in der basaltischen Aera und die geographische und geologische Verbindung vorher getrennt gewesener Theile des Continents offenbar. Es ist eine unabweisbare Annahme, dass es bestimmte Gesetze geben muss, nach welchen diese Verbindungen und die Concentration der hebenden Kräfte auf gewisse Gebiete vor sich gingen. Die Kenntniss derselben ist noch sehr beschränkt. Einen Hinweis auf den Weg, wie wir zu ihr gelangen mögen, giebt die bewunderungswürdige Art, in welcher Professor J. D. DANA die Umrisse der Anordnung der Inselgruppen des Stillen Meeres dargelegt hat. Man hat angenommen, dass die bestimmten Richtungen, welche sich in der Morphologie des Erdballs erkennen lassen, ihren Grund in dem Vorwalten bestimmter Spaltungsflächen in der krystallinischen Structur der Erdrinde haben mögen. Dies ist allerdings die wahrscheinlichste Ursache, die sich anführen lässt. Allein es sollte dabei wohl in Betracht gezogen werden, dass die Richtungen solcher Spaltungsflächen, wenn sie existiren, sich nach der Tiefe ebenso stetig und allmählig ändern müssen, als die chemische Zusammensetzung und das specifische Gewicht, und dass sie in den Tiefen der andesitischen Gemenge ganz anders sein werden als in denen des Granits. Auf das Bestehen einer solchen Aenderung nach der Tiefe weist die eigenthümliche Art hin, in welcher die Verbindungen vorher getrennter Theile zu Stande gebracht worden sind, wie zum Beispiel die Aenderung paralleler Gebirgsreihen auf einer Linie, welche in einem schiefen Winkel gegen sie gerichtet ist, oder die bogenförmige Verbindung hervorragender Erhebungszüge, wie der Anden von Süd- und Nord-Amerika. Es scheint bei einer oberflächlichen Betrachtung, dass bei den-

jenigen Linien der Grenzen der Continente, der Gebirge und Inselreihen, welche ihre Entstehung den Ereignissen in frühen Perioden verdanken, die Richtungen von Nordwest nach Südost und von Nordost nach Südwest vorwaltend sind, dass später Nordnordwest-Südsüdost-Richtungen herrschten und dass in den grossen Zügen der Vulkane und in den Axen der vulkanischen Zonen der tertiären und der gegenwärtigen Zeit nordsüdliche und westöstliche Richtungen obwalten, während sich in ihren untergeordneten Formenverhältnissen die ältesten Richtungslinien, welche wahrscheinlich diejenigen der obersten Theile der Kruste sind, wiederholen.

Das Bestreben, gewisse getrennte Glieder in der Orographie der Erde nach bestimmten Richtungen zu verbinden und die Umrisse und Gestaltung des Festlandes zu vereinfachen, setzt wahrscheinlich ohne Unterbrechung fort, wiewohl eine Aera verhältnissmässiger Ruhe den heftigen Aeusserungen des Vulcanismus der vulkanischen Aera gefolgt ist. Die mächtige Erhebungszone des östlichen Continents, welche die Alpen und den Himalaya umfasst, und die zweite grosse Zone, welche die Anden begreift und den ganzen Stillen Ocean umschliesst, bilden jetzt die hervorragendsten Merkmale der Orographie der Erde. Beide verdanken diese Stellung wesentlich den grossen umgestaltenden Vorgängen der vulkanischen Aera. Die Ergebnisse, welche wir in diesen Blättern erreicht, und die Schlussfolgerungen, welche wir daraus gezogen haben, gründen sich wesentlich auf Beobachtungen in besonders reich entwickelten Theilen beider grosser Gebiete, und es ist vorzüglich aus diesen Gründen die allgemeine Anwendbarkeit wenigstens einiger derselben zu erwarten.

Inhalt.

I.

Band XX.

	Seite
Die natürliche Gliederung der vulkanischen Gesteine	663
Erste Ordnung: Rhyolithgesteine	675
Zweite Ordnung: Trachytgesteine	682
Dritte Ordnung: Propylitgesteine	685
Vierte Ordnung: Andesitgesteine	694
Fünfte Ordnung: Basaltgesteine	698
Uebersicht der Classification	701
Wechselbeziehungen der fünf Ordnungen vulkanischer Gesteine	703
1. Altersverhältnisse der Massenausbrüche	703
2. Altersverhältnisse der vulkanischen Thätigkeit	707
3. Unterschiede der Geotektonik	712
Beziehungen der vulkanischen zu älteren Eruptivgesteinen :	713
1. Beziehungen der Systematik	714
2. Wechselbeziehungen von Alter und Textur	716
3. Wechselbeziehungen zwischen Alter und Zusammensetzung	720
4. Wechselbeziehungen der Eruptivgesteine in Hinsicht auf ihre geographische Verbreitung	721

Band XXI.

Ueber den Ursprung der vulkanischen Gesteine	1
1. Ursprung der Massenausbrüche	3
2. Ursprung der vulkanischen Thätigkeit	23
3. Andere Theorien über den Ursprung der vulkanischen Gesteine und der Eruptivgesteine im Allgemeinen	36
Beziehungen der Verbreitung vulkanischer Gesteine zur Gestalt der Oberfläche der Erde	50

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1868-1869

Band/Volume: [21](#)

Autor(en)/Author(s): Richthofen Ferdinand Freiherr von

Artikel/Article: [Mittheilungen von der Westküste Nordamerikas. 1-80](#)