

Zeitschrift

der

Deutschen geologischen Gesellschaft.

4. Heft (August, September und October 1868).

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,

vorzüglich nach vergleichenden Beobachtungen in den Cordilleren von Nordamerika und den Karpathen.

Bei der vergleichenden Betrachtung der Gesteine, welche an dem Gebirgsbau weit entlegener Gegenden theilnehmen, fällt schon bei oberflächlicher Betrachtung die Wiederkehr der massigen krystallinischen Silicatgesteine mit ähnlicher mineralischer Zusammensetzung, ähnlicher Textur, ähnlicher petrographischer Gliederung und ähnlicher Geotektonik auf. Was aber ihre chemische Zusammensetzung betrifft, so hat erst der Weg genauer wissenschaftlicher Untersuchung erwiesen, dass nicht mehr Aehnlichkeit, sondern völlige Gleichheit gewisse unter jenen Gesteinen unabhängig von dem Ort ihres Vorkommens und der Zeit ihrer Erstarrung verbindet. Liess sich schon daraus ein tieferer Zusammenhang der Eruptivgesteine ahnen, so ist doch ein Verständniss desselben erst durch BUXSEN'S grosse Entdeckung angebahnt worden, dass ein bestimmtes und einfaches Zahlengesetz in den Verhältnissen der chemischen Zusammensetzung und damit des specifischen Gewichts aller massigen krystallinischen Silicatgesteine waltet und ihre Gesammtheit harmonisch umschlingt; ein Gesetz, dem in gleicher Weise die ältesten Granite, die Quarzporphyre, die Ba-

salte und selbst die Laven der jetzt noch thätigen Vulkane unterworfen sind.

In auffallendem Gegensatz zu dieser Wiederkehr gleicher Eigenschaften und diesem engen Verband durch ein einfaches Gesetz steht die Unbeständigkeit und Regellosigkeit in den äusseren und inneren Eigenschaften, welche die Sedimente und selbst die metamorphischen Gesteine kennzeichnet. Diese Abweichungen in Hinsicht auf ihre Wechselbeziehungen bedingen den wesentlichsten und tiefgreifendsten Unterschied zwischen Eruptivgesteinen *) einerseits und den schiefrigen und geschichteten Gesteinen andererseits. Der unbedeutendste Basaltgang, der mächtige Schichtensysteme durchsetzt, das kleinste Bruchstück von Granit in zusammengeschwemmten Conglomeraten geben durch ihre Zusammensetzung und ihre äusseren Eigenschaften ihre bestimmte Stellung in dem Bereich der durch innere Gesetze verbundenen Gesteine zu erkennen und stehen dadurch der regellosen Mengung der sie einhüllenden Sedimente gegenüber.

Diese tief begründeten inneren Unterschiede bedingen eine Verschiedenheit des Gesichtspunktes, von dem die Classification der Gesteine der beiden grossen Abtheilungen auszugehen hat. Die Eintheilung der Sedimentgesteine muss wesentlich künstlich sein. Nur in geringem Grade lassen sich die Principien des natürlichen Systems bei ihnen anwenden; sie können nur deren Hauptabtheilungen, und selbst diese nur in unvollkommener Weise, bestimmen. Eine etwas ausgedehntere Anwendung erhalten natürliche Principien der Systematik bei den metamorphischen Gesteinen. Denn wenngleich deren ursprüngliche Zusammensetzung ebenso zufällig und veränderlich ist wie die der Sedimentgesteine, aus denen sie entstanden sind, so haben

*) Ich habe mich in der vorliegenden Abhandlung ganz allgemein des Ausdrucks „Eruptivgesteine“ zur Bezeichnung derjenigen krystallinischen Silicatgesteine bedient, welche weder Schieferung, noch Schichtung besitzen. Exacte Wissenschaft hat nur mit denjenigen Gesteinen zu thun, welche wir an der Erdoberfläche sehen. Soweit jene Gesteine an ihrer Zusammensetzung theilnehmen, müssen wir sie als aus der Tiefe emporgedrungen annehmen. Die Gründe, welche die Annahme eines solchen Ursprungs auch für die häufig als „plutonisch“ bezeichneten Gesteine rechtfertigen, werden im Verlauf dieser Arbeit auseinandergesetzt werden.

doch bei ihnen die Vorgänge des Metamorphismus durch die Ansammlung der chemischen verwandten Stoffe zu Krystallindividuen, wie überhaupt durch molekulare und chemische Veränderungen einen bestimmten Charakter hervorgerufen. Ueberdies ist es offenbar, dass gleichartige Vorgänge des Metamorphismus oft in nahezu gleicher Intensität über grosse Strecken stattgefunden und eine petrographische Aehnlichkeit solcher Gesteine veranlasst haben, deren chemische Zusammensetzung innerhalb weiter Grenzen schwankt. Bleiben auch die Vorgänge selbst, welche die Veränderungen bewirkt haben, in den meisten Fällen noch dunkel, so wird doch das Ergebniss der Umbildung, wie es uns in der äusseren Erscheinung entgegentritt, gewisse Gruppen metamorphischer Gesteine erkennen lassen, die wir nach äusseren Merkmalen und dadurch unbewusst nach ihren genetischen Wechselbeziehungen ordnen, insofern ähnliche Wirkungen ähnliche Ursachen voraussetzen lassen. Diese Beschränkung der Anwendung natürlicher Principien gilt auch noch zum Theil für die Gneisse. Wie sie aber den Uebergang zu den Eruptivgesteinen bilden, ist das, was für die letzteren gilt, auch für einen Theil von ihnen anwendbar.

Der Gesichtspunkt, von dem aus die Classification der Eruptivgesteine geschehen muss, geht von selbst aus ihrer Verbindung durch bestimmte Wechselbeziehungen hervor. Sie deuten darauf hin, dass die Gesammtheit dieser Gesteine in allen Theilen der Erde und unabhängig von der Zeit ihrer Ankunft an dem Ort, wo wir sie jetzt beobachten, ein natürlich zusammenhängendes, aber andererseits auch natürlich gegliedertes Ganzes bildet; und sie berechtigen zu der Erwartung, dass ihre Erforschung die Gesetze dieses Zusammenhanges wie dieser Gliederung, das heisst das natürliche System der Eruptivgesteine darlegen wird. Noch sind wir weit von der Erkenntniss des letzteren entfernt, und wir können uns ihr nur schrittweise nähern. In der Zoologie und Botanik ist längst das natürliche System als das höchste Ziel wissenschaftlicher Forschung erkannt worden, und alle Arbeiten auf den Gebieten der vergleichenden Anatomie und Physiologie der Thiere und Pflanzen haben in ihm ihren Endzweck. Selbst in der Mineralogie ist durch die vergleichende Berücksichtigung der Krystallform, der chemischen Zusammensetzung und anderer Eigenschaften bei der Systematik ein bedeutender Schritt zur An-

näherung an das gleiche Ziel geschehen. Der Mangel an systematischen Einheiten, wie Gattung und Art, in dem Bereich der Felsarten, die Verbindung der Haupttypen durch zahllose Uebergangsstufen, die unbestimmte Begrenzung der Gesteinsgruppen, welche sich bei aufmerksamer Beobachtung erkennen lassen, die Mannichfaltigkeit zufälliger Abänderungen, wie zum Beispiel der in der Textur begründeten: dies sind im Wesentlichen die Ursachen, welche den Fortschritt in der Kenntniss des natürlichen Systems der Eruptivgesteine verzögert haben. Noch geschehen die Eintheilungen fast ausschliesslich nach künstlichen Principien, und die Annahme ist sehr allgemein, dass nur eine künstliche Systematik dieser Gesteine, das heisst eine Classification auf Grundlage eines vorher als Eintheilungsgrund aufgestellten Princips, praktisch ausführbar sei. Allerdings sind solche Systeme bei der Ordnung von Handstücken im Cabinet übersichtlich und anscheinend einfach und klar. Aber bei der Beobachtung in der Natur treten ihre Mängel deutlich hervor, da ihre Anwendung dort die einfachsten Verhältnisse verworren erscheinen lässt, und sich ganz andere Gliederungen als die nach einem äusseren Merkmale bestimmten von selbst zu erkennen geben.

Wenn man krystallinische Textur, Mangel an Schieferung und Schichtung und Zusammensetzung aus Silicaten als die äusseren Eigenschaften aller Eruptivgesteine annimmt, so begründen Farbe und Textur die augenfälligsten äusseren Unterschiede. Wir finden daher in früher Zeit die Unterscheidung von Porphyr (rother, grüner und schwarzer), Mandelstein, Wacke, Bimsstein, Pechstein, Grünstein u. s. w. mehr hervorgehoben als die subtileren Unterschiede, welche durch die Mineralien begründet sind, aus denen die Gesteine bestehen. Dieses Princip war das nächste, welches sich der Beobachtung bot, und kam daher in nächster Reihe in Anwendung. Seine wissenschaftliche Einführung und damit das erste Emporspringen der Petrologie aus einem vollkommen chaotischen Zustand geschah durch die Untersuchungen von G. ROSE über die Arten der Gruppe der Feldspathe als Gemengtheile von Gebirgsarten. Seitdem ist das mineralogische Princip sehr überwiegend und in mehrfach verschiedener Weise auf die Classification der Eruptivgesteine angewandt worden. Allein die auf Grund desselben aufgestellten Eintheilungen sind nicht

befriedigend. Denn wenn man ihnen die Gesteine nach ihrem natürlichen Vorkommen einzureihen versucht, so wird häufig das in der Natur Verbundene gewaltsam zerrissen und das Getrennte künstlich vereinigt. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn man, wie dies erst neuerdings wieder vorgeschlagen wurde, die Art der Feldspathe als höchsten Eintheilungsgrund annimmt, als zweiten die Gegenwart von Quarz oder freier Kieselsäure, als dritten das Auftreten von Augit oder Hornblende; und es gilt in noch höherem Grade, wenn man auf dasjenige Unterscheidungsmerkmal der Eruptivgesteine, das wir an die Spitze dieser Abhandlung gestellt haben, keine Rücksicht nimmt und krystallinische Schiefer mit Eruptivgesteinen zusammen in den einzelnen Abtheilungen vereinigt. So charakteristisch zum Beispiel der Oligoklas als vorherrschender feldspathiger Gemengtheil für eine grosse Zahl vulkanischer wie granitischer Gesteine und einzelner krystallinischer Schiefer ist, würde man doch grosse und wesentliche Unterschiede zwischen ihnen verleugnen müssen, wenn man alle durch den genannten Feldspath ausgezeichneten Gesteine in einer grossen Abtheilung vereinigen wollte. Wir werden im weiteren Verlauf dieser Arbeit Gelegenheit haben einen auffallenden Beweis davon in Betreff der Hornblende-Oligoklas-Gemenge unter den vulkanischen Gesteinen anzuführen. Bei einer schematischen Uebersicht und für die Bestimmung von Handstücken von Gesteinen nach Beschreibungen mag eine allein auf der mineralischen Zusammensetzung fussende Scheidung anwendbar und in mancher Hinsicht belehrend sein; bei einer Reihung nach natürlichen Principien jedoch muss diesem Gesichtspunkt zwar in hohem Grade Rechnung getragen werden, aber er kann nicht allein maassgebend sein. Als die mineralische Zusammensetzung der Gesteine sich allmählig der Forschung erschloss, blieb ihre chemische Zusammensetzung noch lange unklar. Sie wurde der nächste Gesichtspunkt, der sich der Classification darbot. Allein es dürfte ihr als alleiniger Eintheilungsgrund kaum ein grösserer Werth beizulegen sein als dem vorhergenannten Princip. Die Reihung sämmtlicher Eruptivgesteine nach ihrem Hauptbestandtheil, der Kieselsäure, hat zwar zu weittragenden Schlüssen Veranlassung gegeben, aber sie stellt den natürlichen Zusammenhang nur einseitig dar. Denn eines-theils lässt sie die wichtigen Beziehungen des Alters und der

Lagerung unbeachtet, und andererseits giebt sie derjenigen Gliederung in Classen und Ordnungen keinen Ausdruck, welche sich in den äusseren Verhältnissen der Textur und der mineralischen Zusammensetzung am deutlichsten zu erkennen giebt. Wollte man zum Beispiel Granit, Quarzporphyr und Rhyolith in eine Classe vereinigen, weil sie die Kieselsäure in dem höchsten Verhältniss enthalten, das unter Eruptivgesteinen beobachtet worden ist, so würde man die mineralische Zusammensetzung und das geologische Verhalten unbeachtet lassen. In beiden Beziehungen ist Rhyolith den Trachyten näher verwandt als den Graniten und Porphyren, während diese beiden wohl von einander verschieden sind, der Granit aber durch allmälige Abstufungen mit Syenit und der Quarzporphyr mit Porphyrit verbunden sind.

Aehnlich verhält es sich mit allen anderen Gesichtspunkten, von denen aus die Gesteine betrachtet werden können, wenn sie einseitig angewendet werden. Es ist ja überhaupt das Wesen des künstlichen Systems, von einem vorher als Eintheilungsgrund gesetzten Merkmal auszugehen und auf dasselbe die ganze Classification zu gründen, während das natürliche System so viele Merkmale als möglich benutzt, die durch Anwendung eines jeden derselben gewonnenen Resultate vergleicht und die Gesamteintheilung auf den Grad der Uebereinstimmung dieser verschiedenen Resultate gründet. Es hat daher ein und dasselbe Princip nicht gleiche Geltung für die Gestaltung der obersten Classen und für die Aufstellung der Unterabtheilungen. Das natürliche System ist die Classification von Objecten, nicht nach gewissen äusseren Merkmalen, sondern nach ihren Wechselbeziehungen. Die Erforschung dieser nach so vielen Gesichtspunkten, als sich darbieten mögen, hat seine Grundlage zu bilden, wie andererseits das natürliche System der höchste Ausdruck der gesammten Ergebnisse dieser Forschung ist. Wir müssen die Unterabtheilungen, wie sie in der Natur existiren, finden, nicht sie künstlich bilden. Dies ist der Weg, auf dem man zur Darstellung des natürlichen Systems der organischen Wesen gelangt ist; und es ist der einzige Weg, auf dem es in Betreff derjenigen Gesteine erreicht werden kann, welche allein bestimmte Wechselbeziehungen darbieten und daher allein einer natürlichen Systematik fähig sind, das heisst der Eruptivgesteine. Es muss diesem System nicht

nur die Gesammtheit der petrographischen Charaktere, wie mineralische Zusammensetzung, chemische Zusammensetzung, Textur und specifisches Gewicht, zu Grunde liegen, sondern auch die Art des geologischen Vorkommens, insbesondere die natürliche geologische Gruppierung und die Art der Entstehung, soweit wir darüber sicheren Aufschluss erlangen können.

Der vorliegende Aufsatz hat zunächst nur die Darstellung und Begründung der natürlichen Gliederung der tertiären und posttertiären Eruptivgesteine zum Zweck, wie sie sich aus der Vergleichung von Beobachtungen, welche ich in früherer Zeit in den Karpathen ausführte, mit solchen in der Sierra Nevada Californiens und angrenzenden Gebieten ergibt. Diese Gesteine spielen in den pacifischen Küstenländern von Nordamerika überhaupt eine hervorragende Rolle im Gebirgsbau. Von der Landenge von Panama bis zur Halbinsel Aljaska und von der Küste bis zum Felsengebirge und dessen nördlicher und südlicher Fortsetzung sind sie sehr verbreitet, am allgemeinsten wohl auf den Hochländern, aber auch am westlichen Fuss. Ein wenig nördlich von dem Breitengrad von San Francisco erreicht die Cordillere ihre grösste Breitenausdehnung von nahezu 1200 englischen Meilen. Vulkanische Gesteine und erloschene Kratere sind in dieser ganzen Erstreckung sehr verbreitet; und wahrscheinlich ist dies der grossartigste Schauplatz tertiärer und posttertiärer eruptiver Thätigkeit auf der Erdoberfläche. Wie allenthalben, so treten auch hier diese Ausbruchsgesteine in der mannichfaltigsten Weise auf. Bald erscheinen sie zu grossen, selbstständigen Gebirgsketten aufgethürmt, bald in isolirten Durchbrüchen, die entlang dem Steilabfall eines älteren Höhenzugs oder in Thalsenkungen regelmässig angeordnet sind. Hier setzen die Gesteine einen hervorragenden Vulkan oder einen Zug von Vulkanen zusammen und breiten sich als Laven in radialer Ausstrahlung weithin in deren Umgebung aus; dort treten langgestreckte Eruptionsmassen auf, bei denen man vergebens nach der Spur eines Auswurfskegels oder einer radialen Anordnung sucht. In einer Gegend sind die Eruptivgesteine von mächtigen Conglomeraten und Tuffbänken begleitet, und die schützende Decke ihrer massenhaften Schlammströme verwandelt gebirgisches Land in Ebenen; an anderen Orten fehlen solche secundäre Gebilde vollständig. Die Mannichfaltigkeit des Gesteinscharakters ist oft verwirrend auf einem

kleinen Gebiet; dann aber begegnet man einer einzigen Gesteinsabänderung auf meilenweite Strecken.

Wenn man diese vulkanischen Gebiete aufmerksam erforscht, so wird man bald eine Gliederung gewahr, welche sich in der allgemeinen Anordnung der Eruptivmassen nach rein geologischen Gesichtspunkten bietet. Trägt man diesen in erster Linie Rechnung, so ergeben sich Gesteinsfamilien, welche im Wesentlichen mit gewissen nach künstlichen Principien aufgestellten Gruppen zusammenfallen, aber sich natürlicher gegenseitig abgrenzen. Die Gesteine einer solchen Gruppe, in mineralischer und chemischer Zusammensetzung einander verwandt und auch in den Texturabänderungen einander ähnlich, besitzen eine gewisse Uebereinstimmung im petrographischen Charakter, den man häufig erkennt, ohne die äusseren Merkmale genügend in Worten ausdrücken zu können.*) Es ist ihnen als Gesammtheit eine bestimmte Rolle im Bau der einzelnen Eruptivgebirge zugetheilt, und vergleichende Untersuchung zeigt, dass auch ein gewisses Altersverhältniss den anderen Gruppen gegenüber stets wiederkehrt. Es ist dies Bleibende derselben Eigenthümlichkeiten bei dem Auftreten an verschiedenen Orten und unter verschiedenen Verhältnissen, wodurch sich das Gesetzmässige der Erscheinung und ihr innerer Verband zu erkennen giebt und tiefer liegende Ursachen der Gliederung in grosse Gruppen oder Ordnungen angedeutet werden.

Ob die aus vergleichenden Beobachtungen in den beiden genannten Gegenden sich ergebende Eintheilung und Nomenclatur allgemeinere Gültigkeit haben, wird ihre Anwendbarkeit auf die gleichartigen Gesteine in anderen Theilen der Erd-

*) Dies tritt besonders bei Gesteinen von gleicher oder ähnlicher mineralischer Zusammensetzung hervor, wie Oligoklas-Trachyt, Hornblende-Andesit und Hornblende-Propylit, bei denen Hornblende und Oligoklas als die wesentlichen Gemengtheile erscheinen; oder die beiden Varietätenreihen der Augit-Andesite. Es ist zu erwarten, dass genaue chemische Analysen und physikalische Untersuchungen in der Art, wie sie H. ROSE in Betreff der Modificationen der Kieselsäure und SONBY in Hinsicht auf jene Eigenthümlichkeiten der Textur, die nur mit dem Mikroskop erkennbar sind, ausgeführt haben, ein Verständniss der Ursachen dieser Unterschiede anbahnen werden, so beschränkt auch noch gegenwärtig die auf diesem verhältnissmässig neuen Feld der Untersuchung gewonnenen Erfahrungen sind.

oberfläche erweisen. Dem Resultat dürfte die Thatsache bedeutend vorgreifen, dass dieselben Gesetze der Aufeinanderfolge und dieselbe natürliche Gliederung, welche in der Sierra Nevada deutlich ausgesprochen sind, in einer so weit entlegenen Gegend wie die Karpathen ihre Wiederholung finden, während die Verhältnisse in vielen anderen Gegenden, in welchen tertiäre und posttertiäre Eruptivgesteine in geringerer Mannichfaltigkeit auftreten, aber der Gegenstand eingehender Beschreibungen gewesen sind, eine gewissermassen fragmentarische Bestätigung bieten. Es ist aber wohl zu bemerken, dass die Zahl solcher genau untersuchten Gegenden gering ist, und selbst in diesen die Natur der Gesteine sich aus Beschreibungen häufig nicht erkennen lässt. Es braucht kaum darauf hingewiesen zu werden, in welcher chaotischer Weise noch die Nomenclatur der Eruptivgesteine überhaupt, selbst in Deutschland, der Wiege der petrographischen Wissenschaft, angewendet wird; wie die Namen „Trapp“, „Grünstein“, „Anamesit“, „Aphanit“, „Porphyr“ und ihre etymologischen Verbindungen in der weitesten Fassung gebraucht werden und nur zu oft als ein bequemer Deckmantel der Unwissenheit oder Unsicherheit zu gelten haben. Dies macht die Vergleichung der Beobachtungen schwierig und oft unausführbar. Da allein die Anwendung einer gleichen Nomenclatur die harmonische Beobachtung und Vergleichung in verschiedenen Ländern nicht nur in Betreff der in Rede stehenden Gesteine, sondern auch der Ausbrucherscheinungen, der vulkanischen Thätigkeit und anderer Aeusserungen des Vulcanismus möglich macht, so ist sie die Grundbedingung eines vollkommenen Verständnisses dieser Erscheinungen. Es ist zu hoffen, dass eine grössere Einigung bald angebahnt werden wird, besonders in der englischen und amerikanischen geologischen Literatur, in welcher die allgemeinen und unbestimmten Benennungen noch immer vorwaltend angewendet werden.

Als Classe, ihren Vorläufern aus früheren Zeitaltern der Entwicklungsgeschichte der Erde gegenüber, mögen die tertiären und posttertiären Eruptivgesteine unter dem Namen der vulkanischen Gesteine zusammengefasst werden, da einerseits ein Zusammenhang mit vulkanischer Thätigkeit bisher für sie allein mit Sicherheit nachgewiesen worden ist, andererseits aber fast jede hieher gehörige Gebirgsart auf einem zweifachen

Wege an ihre jetzige Lagerstätte gelangt ist: entweder durch Ausbrechen aus einem Vulkan als Lava oder Asche, oder durch das Hervorquellen in mächtigen Massen, deren Ursprung sich nicht auf eigentliche vulkanische Thätigkeit zurückführen lässt, und in denen gewöhnlich eine die Breite bedeutend überwiegende Längsrichtung bemerkbar ist. Die Lagerungsverhältnisse deuten auf eine Gleichartigkeit dieser Ausbrüche mit denen der älteren Eruptivgesteine. Wir unterscheiden die beiden Formen der Thätigkeitsäusserung, auf deren Verschiedenheit wir im Verlauf dieser Arbeit ausführlicher eingehen werden, als vulkanische Ausbrüche und Massenausbrüche. Die Gesteine sind im Wesentlichen gleichartig in beiden Fällen.

In der folgenden Eintheilung, in welcher bestehende Namen so viel als möglich beibehalten sind, habe ich versucht, den hier angeführten Principien der natürlichen Systematik Rechnung zu tragen, soweit es sich bei dem gegenwärtigen Stand unserer Erfahrungen thun lässt*):

Erste Ordnung: Rhyolithgesteine.

- Familie 1. Nevadit oder granitische Rhyolithe.
- „ 2. Liparit oder felsitische und porphyrische Rhyolithe.
- „ 3. Eigentlicher Rhyolith oder lithoidische und hyaline Rhyolithe.

Zweite Ordnung: Trachytgesteine.

- Familie 1. Sanidintrachyt.
- „ 2. Oligoklastrachyt.

Dritte Ordnung: Propylitgesteine.

- Familie 1. Quarzpropylit oder Dacit.
- „ 2. Hornblende-Propylit, oder eigentlicher Propylit.
- „ 3. Augit-Propylit.

*) Es sind bei dieser Eintheilung nur die augenfälligsten Merkmale benutzt, da mir hier feinere Untersuchungsmittel nicht zu Gebote stehen. Ich glaube für dieselbe, wie überhaupt für die Mängel dieser Abhandlung, auch deshalb besondere Nachsicht in Anspruch nehmen zu dürfen, weil mir die neuere geologische Literatur nur in sehr beschränktem Maasse zugänglich ist.

Vierte Ordnung: Andesitgesteine.

Familie 1. Hornblende-Andesit.

„ 2. Augit-Andesit.

Fünfte Ordnung: Basaltgesteine.

Familie 1. Dolerit.

„ 2. Basalt.

„ 3. Leucitophyr.

Diese Eintheilung wendete ich in ihren Grundzügen bereits in einer früheren Abhandlung*) an, als man noch alle leitenden vulkanischen Gesteine unter den Namen: Trachyt, Phonolith, Trachytdolerit, Dolerit und Basalt zusammenzufassen pflegte und ausserdem nur zufällige Modificationen der Textur, wie Bimsstein, Obsidian und Perlstein, und aussergewöhnliche Vorkommnisse, wie Leucitophyr, mit besonderen Namen unterschied. Der Name „Rhyolith“ ist hier in derselben Bedeutung gefasst, in der er in jener Abhandlung eingeführt wurde, der Name „Trachyt“ jedoch in viel engerer Beschränkung angewendet. Mangel an Zeit gestattete mir damals nicht, dem Studium derjenigen Gesteine, welche man damals ganz allgemein unter dem Namen Trachyt zusammenzufassen pflegte, dieselbe Aufmerksamkeit zuzuwenden wie dem der Rhyolithe. Ich folgte im Gebrauch des Namens wesentlich dem Vorgang BEUDANT's, welcher durch seine ausgedehnten Untersuchungen in Ungarn und seine klassische Abhandlung**) demselben zuerst eine bleibende Stellung in der Nomenclatur gesichert hat. Er wendete jedoch den Namen „Trachyt“ weit über die Grenzen der Gesteine an, für die ihn HAUY zuerst eingeführt hatte. Eine noch umfassendere Bedeutung gab ihm HUMBOLDT im vierten Band des „Kosmos“. Denn wenn man der darin vorgeschlagenen Eintheilung folgt, so fallen dem Trachyt alle vulkanischen Gesteine mit Ausnahme von Phonolith und Basalt zu. Doch war es auch gerade HUMBOLDT, welcher durch die Aufstellung zahlreicher Unterabtheilungen zuerst die Nothwendigkeit angedeutet hat, besondere Namen für beschränktere

*) RICHTHOFEN, Studien aus den Ungarisch-Siebenbürgischen Trachytgebirgen, im Jahrbuch der k. k. geologischen Reichsanstalt zu Wien, 1860. Die Abhandlung wurde während der Abwesenheit des Verfassers gedruckt und ist voll von Druckfehlern, welche zuweilen den Sinn vollständig entstellen.

**) BEUDANT, Voyage en Hongrie. Paris, 1820.

Gruppen anzuwenden. Nach Abtrennung des Rhyoliths in der genannten Abhandlung verblieben bei dem Trachyt alle tertiären und posttertiären Eruptivgesteine von mittlerem Kieselsäuregehalt. Doch wies ich damals (S. 227 — 230) auf eine Sonderung hin, welche unter diesen Gesteinen, soweit sie an der Zusammensetzung der Karpathen theilnehmen, durch die geologischen Verhältnisse geboten ist. Es ist diejenige zwischen den „Grünsteintrachyten“ und „Grauen Trachyten“, wie ich dort die beiden Abtheilungen bezeichnete. Allein die Trennung ist, als eine in den verschiedensten Gegenden sich wiederholende, mit grösserer Schärfe durchzuführen. Die „Grünsteintrachyte“ sind daher hier als eine den Trachyten coordinirte Ordnung unter dem Namen der „Propylite“ eingereiht. Aber selbst nach diesem Abzug bleibt, gemäss der Definition im „Kosmos“ und dem früher allgemeinen Gebrauch, bei den „Trachyten“ noch eine lange Reihe von sauren zu stark basischen Gesteinen. J. ROTH (in seinen vortrefflichen „Gesteinsanalysen“), B. v. COTTA (Gesteinslehre, 2. Auflage), F. ZIRKEL (Reise nach Island) und Andere haben mit Recht eine so weite Fassung des Begriffes angegriffen und sind für die Definition des „Trachytes“ auf das Drachenfelsgestein zurückgegangen, für welches HAUY den Namen zuerst vorgeschlagen hatte. Für den Rest der in Betracht kommenden Gesteine haben sie besonderes Gewicht auf die Aufrechterhaltung des Namens „Andesit“ gelegt, den man allerdings ohne zureichende Veranlassung hatte fallen lassen. Diese Sonderung ist in den petrographischen wie in den geologischen Verhältnissen wohl begründet. Die bei geognostischen Beschreibungen in Anwendung kommende Nomenclatur erleidet dadurch allerdings eine nicht unbedeutende Umgestaltung. Denn Jeder, der hervorragendere Lagerstätten vulkanischer Gesteine bereist hat, weiss, dass alsdann die ganze Masse jener dunklen, halb basischen Gesteine, aus denen häufig die Hauptmasse der früher sogenannten „Trachytgebirge“ aufgebaut ist, und für deren Bezeichnung man nach BEUDANT's Vorgang an den Namen Trachyt gewöhnt war, zu den Andesiten zu rechnen ist, während jener Name Gesteinen vorbehalten bleibt, welche zwar an zahlreichen Orten und mit einem grossen Reichthum von Abänderungen vorkommen, aber in Betreff ihrer Masse gewöhnlich ganz untergeordnet bleiben. In Sammlungen findet man ge-

wöhnlich, wegen des grösseren Wechsels in mineralischer Ausbildung, die Trachyte reicher vertreten als die Andesite, und dies hat zuweilen zu irrigen Vorstellungen über ihre verhältnissmässige Rolle im Gebirgsbau geführt. Denn es scheint nur wenige und ganz beschränkte Orte zu geben, an denen die Trachyte gleiche Herrschaft erlangen wie die Andesite, und noch seltener sind die Fälle, wo sie allein von beiden Gesteinsgruppen vertreten sind. Die Mehrzahl der „Trachytgebirge“ wird man nun als Andesitgebirge zu bezeichnen haben. Die Trennung der beiden Gesteinsgruppen ist jedoch erforderlich; und die beiden bestehenden Namen, im Sinn ihrer Urheber angewendet und von diesem aus erweitert, sind wohl die geeignetsten zur Bezeichnung der beiden Abtheilungen.

Ich will im Folgenden versuchen, die Merkmale der einzelnen Gesteinsordnungen, wie sie sich bei ihrer Sonderung nach natürlichen Principien zu ergeben scheinen, kurz anzuführen.

Erste Ordnung: Rhyolithgesteine.

Geologisches Vorkommen. — Rhyolith ist in jeder einzelnen Gegend jünger als Propylit, Andesit und Trachyt und älter als Basalt. *) Er bildet daher in Beziehung auf seine Eruptionsperiode an jedem Ort seines Vorkommens eine selbstständige Gesteinsgruppe. Hinsichtlich seiner Verbreitung ist er von den ihm im Alter vorangehenden Gesteinen durchaus abhängig und tritt innerhalb der engeren Grenzen ihrer Verbreitung, gewöhnlich in ihrer unmittelbaren Nachbarschaft, auf. Doch ist er selten ihren Höhenrücken aufgesetzt, sondern begleitet sie in besonderen Zügen, oder tritt schmarotzerhaft auf den Flanken oder in Einsenkungen der Trachyt- und Andesitgebirge auf. Rhyolith bildet selten das Material von Massenausbrüchen, sondern ist vorwaltend ein Erzeugniss vulkanischer Thätigkeit. Grossartige Beispiele der letzteren Art des Vorkommens bieten in Californien die Vulkane Lassen's Peak und Mount St. Helena. Rhyolithische Gesteine scheinen eine weite Verbreitung zu haben. Ihre Bedeutung im Gebirgsbau der vul-

*) Die bei den einzelnen Ordnungen angeführten Altersverhältnisse beziehen sich wesentlich auf die Massenausbrüche, wie ich im Folgenden auseinandersetzen werde.

kanischen Gegenden Ungarns habe ich in dem bereits angeführten Aufsatz darzustellen versucht. In ungleich grösserer Masse und Verbreitung treten sie auf der Hochfläche zwischen der Sierra Nevada und dem Felsengebirge auf, wo sie langgestreckte Bergrücken allein zusammensetzen und an zahllosen Orten in Wechselverband mit anderen vulkanischen Gesteinen treten. Auch auf dem Plateau von Mexico ist ihre Rolle, nach Handstücken und geognostischen Beschreibungen zu urtheilen, sehr bedeutend; ebenso in der Wüste Atacama und in anderen Theilen Südamerikas. Ihr ausgedehntes Vorkommen auf Neu-Seeland ist durch HOCHSTETTER bekannt geworden. Auch Island, die Euganeen, die Rosenau im Siebengebirge, die Liparischen Inseln, der griechische Archipel, St. Paul im Indischen Ocean, der Rand des mongolischen Hochlandes in der Nähe von Peking, die Umgebung von Hakodade auf Jesso und das armenische Hochland sind Gegenden, in denen das Vorkommen rhyolithischer Gesteine unzweifelhaft nachgewiesen worden ist. Auch auf den Inseln des Stillen Oceans scheinen sie aufzutreten. Ihre Verbreitung ist in der That so allgemein, dass es jetzt beinahe wunderlich erscheinen muss, dass das Vorkommen quarzführender Laven so lange bestritten worden ist. Es scheint, dass die Ausbrüche der Rhyolithe im Allgemeinen von besonders heftiger Solfatarenthätigkeit begleitet waren; und die Nachbarschaft von Erzlagerstätten und Alaunfels, deren Bildung in Zusammenhang mit ihr steht, scheint auf eine eigenthümlich reiche Entwicklung von Fluor und Chlor bei derselben hinzudeuten (Studien etc. S. 249 bis 276).

Petrographischer Charakter. — Der Rhyolith besteht aus einer Grundmasse mit oder ohne Einschlüsse; die erstere ist eine kieselsäurereiche Mengung, die letzteren sind fast ausschliesslich kieselsäure- und alkalireiche Mineralien. Die Grundmasse ist ausserordentlichem Wechsel unterworfen und verursacht vorzüglich den grossen Reichthum an Abänderungen, welche bei Rhyolith zahlreicher sind als bei allen anderen vulkanischen Gesteinen. Die Farben sind weiss, grau, gelb, grün, roth, braun, mit allen Zwischenstufen, in allen Schattirungen. Helle Töne sind vorwaltend, und Schwarz scheint nicht vorzukommen. Ebenso veränderlich ist die Textur. Die grosse Anzahl der hyalinen Abänderungen oder natürlichen

Gläser, welche allen vulkanischen Gesteinen eigen sind, aber an Mannichfaltigkeit in gleichem Verhältniss mit der Kieselsäure abnehmen, ist eins der Merkmale des Rhyoliths. *) Die Structur ist glasartig (Obsidian), langfaserig aufgebläht (Rhyolithbimsstein), perlitisch (Perlstein), emailartig, lithoïdisch (Textur von FRIEDR. HOFFMANN's steinartigen Laven), felsitisch (Liparit) bis zu einem anscheinend mikrokrystallinischen Aggregat (wahrscheinlich sind die Kryställchen durch amorphe Substanz zusammengehalten) von rauher, feinzelliger Beschaffenheit (vorwaltend im Nevadit). Die Grundmasse ist zuweilen ohne Einschlüsse (einzelne Bimssteine, Obsidiane und Perlite), zuweilen von der Menge derselben beinahe verdrängt (einzelne Nevadite). Die Einschlüsse sind Quarz, Sanidin, Oligoklas (glasiger und gemeiner), Biotit, Hornblende; ferner Sphärolithe (BEUDANT) und Lithophysen (Studien etc. S. 180). Rhyolith theilt nur mit Dacit unter allen vulkanischen Gesteinen die Eigenschaft, Quarz als wesentlichen Gemengtheil zu enthalten. In ersterem scheint dieses Mineral ausschliesslich in der Form von Dihexaëdern vorzukommen, die nur an den Kanten zuweilen etwas abgerundet sind, während es im Dacit in der Form von rundlichen Körnern auftritt. Ausserdem sind dem Rhyolith eigenthümlich die Einmengungen von Lithophysen, die Häufigkeit der Sphärolithe, perlitische Textur, die langfaserige Beschaffenheit seiner Bimssteine und die sehr vollkommene lamellare Anordnung in Lagen von ausserordentlicher Feinheit, welche besonders bei lithoïdischen Abänderungen vorkommt. Die Lagen sind papierdünn und von verschiedener Färbung, und oft bestehen Massen, die Hunderte von Fussen mächtig sind, ganz und gar aus ihnen. Alle hyalinen Varietäten, mit Ausnahme des Perlsteins, nehmen an dieser Structurform theil.

Man kann den Rhyolith schlechthin als Trachyt mit überschüssiger Kieselsäure bezeichnen, die entweder als Quarz ausgeschieden, oder in der Masse des Gesteins gleichsam aufgelöst ist. Er hat dadurch die Stellung des Granits und Quarzporphyrs unter den vulkanischen Gesteinen; und da er in

*) Es giebt wohl kein besseres Anzeichen der künstlichen Principien, auf welche die Classification bisher begründet war, als den Umstand, dass zufällige Texturabänderungen gleichwerthig mit tief begründeten Unterschieden angewendet wurden, und Basalt, Bimsstein, Perlit und Trachyt als gleichberechtigte Unterabtheilungen galten.

Beziehung auf chemische Zusammensetzung mit ihnen identisch ist, so darf er als ihr Nachläufer betrachtet werden. Selbst im äusseren Charakter ist die Verwandtschaft zuweilen so ausgeprägt, dass einzelne Nevadite auf den ersten Anblick das Aussehen von Granit haben und die Verschiedenheit erst bei näherer Untersuchung hervortritt.

Die grosse Mannichfaltigkeit der Textur, welche den Rhyolithen eigenthümlich ist, ist wahrscheinlich weniger in den Verhältnissen begründet, unter denen sie erstarrten, als in der Verschiedenheit ihres Wassergehalts und ihrer molekularen Beschaffenheit zur Zeit des Ausbruches. Rhyolithische bieten mehr als andere vulkanische Gesteine die Anzeichen einer einstigen Verschmelzung der flüssigen Masse mit überhitztem Wasser. Die schaumige Aufblähung des Bimssteins, die feinzellige Auftreibung bei mikrokrystallinischem Gefüge, welche das eigentliche Merkmal trachytischer Textur, dem Rhyolith aber in vollkommenerem Maasse als dem Trachyt eigen ist, sowie die Ablösung concentrischer Membranen, welche zuweilen bei perlitischer Structur vorkommt, sind wahrscheinlich sämmtlich nur verschiedenartige Aeusserungen derselben Grundursache: der plötzlichen Verwandlung von beigemengtem Wasser in Dampf im Augenblick des Ausbrechens, oder wahrscheinlicher im Augenblick eintretender Erstarrung.*) Die porphyrartig eingeschlossenen Krystalle scheinen in allen Fällen in der flüssigen Masse fertig gebildet eingeschlossen gewesen zu sein, da sie an der Auftreibung nicht theilnehmen.

Unterschied des Rhyoliths von verwandten Gesteinen. — Einzelne unter den zahlreichen Abänderungen des Rhyoliths haben durch ihre äusseren Eigenschaften Aehnlichkeit mit anderen Gesteinen. Die bereits erwähnte Verwandtschaft mit Granit tritt bei gewissen Nevaditen hervor, welche Quarz, Orthoklas und Biotit in besonderer Menge und in grossen Krystallen enthalten. Doch ist bei diesen stets eine Grundmasse vorhanden, der Orthoklas ist stets, der Oligoklas meistens glasartig, und der Quarz ist in Krystallen eingeschlossen, während er im Granit gewöhnlich die Zwischenräume zwischen dem Aggregat der anderen Bestandtheile erfüllt. Näher ist die

*) Zufolge der Beobachtung, dass bei Lavaströmen die Entwicklung von Dämpfen und Gasen im Augenblick der Krystallisation geschieht.

Verwandtschaft der Liparite mit Quarzporphyr. In Handstücken können beide oft verwechselt werden. Geologische Beobachtung wird aber immer die Vergesellschaftung des Gesteins, im einen Fall mit porphyrischen, im anderen mit vulkanischen Gesteinen erweisen und kaum jemals einen Zweifel in Betreff seiner Stellung lassen. Am innigsten ist die Annäherung einzelner Abänderungen an Trachyt. Sie findet im Gefüge und in der Zusammensetzung statt, letzteres besonders in solchen Fällen, wenn die freie Kieselsäure nicht als Quarz ausgeschieden ist. Manche Gesteine nehmen eine Mittelstufe zwischen beiden ein, in ähnlicher Weise wie die Mittelstufen in der Zusammensetzung zwischen Granit und Syenit, oder im Gefüge, zwischen Obsidian und Perlit, bei welcher die Herleitung des Namens von der einen oder der anderen Seite oft vollkommen gleichberechtigt ist. Es wurde bereits der Verwandtschaft mit Dacit gedacht. Die meisten Varietäten dieses Gesteins sind dem Propylit so nahe im Gesteinscharakter verbunden, dass an eine Verwechslung mit Rhyolith nicht zu denken ist. Doch beschreibt STACHE einige Abänderungen, welche sich dem Nevada zu nähern scheinen. Es werden wohl in Betreff derselben weitere Beobachtungen abzuwarten sein.

Unterabtheilungen. — Für die Aufstellung von Unterabtheilungen unter den Gesteinen der einzelnen Ordnungen vulkanischer Gesteine giebt die mineralische Zusammensetzung ein Princip, das nicht allein das praktisch anwendbarste für die Bestimmung der Gesteine nach Beschreibungen ist, sondern auch häufig den Anforderungen der natürlichen Systematik in eigenthümlicher Weise entspricht, wenn es denjenigen Principien untergeordnet wird, welche die höheren Klassen und Ordnungen bestimmen. Der Rhyolith allein bildet in dieser Beziehung eine Ausnahme. Man müsste von dem Gesichtspunkt der Zusammensetzung quarzführende und quarzfreie Rhyolithe unterscheiden, oder solche, welche Sanidin und Oligoklas enthalten. Allein diese Eintheilung würde Inconsequenzen mit sich führen. Denn da die Kieselsäure oft in der Gesteinsmasse aufgelöst und nicht als Quarz ausgeschieden ist, und dasselbe in Betreff einer oder beider Feldspatharten der Fall sein mag, so würde man leicht in den Fall kommen, Gesteine von gleicher chemischer Beschaffenheit und nur zufällig verschiedenem äusserem Charakter in beiden Abtheilungen unterbringen zu

müssen. Die Hauptunterschiede der rhyolithischen Gesteine nach äusserlichen Merkmalen sind in der Textur begründet, welche an die des Granits erinnert, oder porphyrisch, oder hyalin ist. Diese Eintheilung erscheint künstlich, da sie auf einem künstlichen Princip der Systematik beruht. Allein es ist eine eigenthümliche Erscheinung, die gegenwärtig kaum einer genügenden Erklärung fähig ist, dass an jedem Ort, wo man Rhyolith kennt, ausschliesslich oder vorwaltend eine Texturform vertreten ist. Wie bei Tokay und in der ganzen Hégyallya, in den Weinbergen bei Bereghszász und an vielen anderen Orten in Ungarn nur die hyalinen Rhyolithe in endlosen Abänderungen vorkommen, so findet sich an dem Vulkan Lassen's Peak und bei Silvermountain in Californien nur Nevadit, kaum mit einer Andeutung einer abweichenden Textur; so in den Steinbrüchen von Bene und Muzsay im östlichen Ungarn ausschliesslich porphyrische und bei Sonoma an der Bai von San Francisco wiederum nur hyaline Abänderungen. Diese Erscheinung deutet an, dass die Verschiedenheit der Rhyolithe nach der Textur eine tiefere Begründung hat, als man in Betreff dieses Merkmals gewöhnlich für Eruptivgesteine annimmt, und scheint zu beweisen, dass für sie die Eintheilung nach diesem Princip den Anforderungen des natürlichen Systems am meisten entspricht. Wir unterscheiden die folgenden drei Familien:

1. Familie des Nevadits oder der granitischen Rhyolithe. — Der Name „Nevadit“ ist von dem des Unionsstaates Nevada abgeleitet, wo ich das Gestein zuerst gebirgsbildend und massenhaft verbreitet fand. Der Localname ist gewählt, weil das Gestein, ausser dem benachbarten Californien, in anderen Gegenden fast unbekannt ist. Von den Gesteinen der Karpathen gehört hierher der Rhyolith vom Illova-Thal in Siebenbürgen. Die Bezeichnung „granitische Rhyolithe“ deutet mehr die allgemeine Aehnlichkeit des Gesteins in Felsblöcken mit Granit an als eine engere Verwandtschaft in der Textur. Nevadit scheint besonders das Product rhyolithischer Massenausbrüche, seltener, wie an Lassen's Peak, durch vulkanische Thätigkeit entstanden zu sein.

In petrographischer Beziehung begreift Nevadit ausschliesslich quarzführende Abänderungen. Der Quarz ist oft in grosser Menge ausgeschieden, die Krystalle sind an den Kanten ge-

rundet und rissig. Sanidin findet sich in grossen, glasigen, Oligoklas meist in kleineren Krystallen; beide sind gewöhnlich von Rissen und Sprüngen durchzogen und ihre Krystalle an den Kanten abgerundet. Häufig sind schwarzer Glimmer und Hornblende beigemengt. Die Grundmasse ist von sehr verschiedenen, vorwaltend hellen Farben, meist kleinzellig aufgetrieben und sehr rau; seltener sind dichte Abänderungen mit emailartigem und selbst unvollkommen perlitischem Gefüge.

2. Familie des Liparits*), oder der porphyrischen Rhyolithe mit felsitischer Grundmasse. — Diese Gesteine treten in mehr untergeordneter Weise auf als die der beiden anderen Ordnungen und scheinen ebensoviel durch Massenausbrüche als durch vulkanische Thätigkeit an ihre Lagerstätten gelangt zu sein. Eine felsitische Grundmasse von den verschiedensten Färbungen umschliesst Krystalle von Quarz allein, von Quarz und Sanidin, von Quarz, Sanidin, Oligoklas und schwarzem Glimmer, oder auch von beiden Feldspathen oder einem von ihnen ohne Anwesenheit von Quarz. Die Krystalle sind scharf begrenzt und selten rissig, der Oli-

*) Wenn ich mich für die ganze in Rede stehende Ordnung des von mir selbst eingeführten Namens „Rhyolith“ bediene und die von Herrn J. RORU vorgeschlagene Benennung „Liparit“ nur für eine Unterabtheilung anwende, so geschieht dies, weil die Arbeit über den Rhyolith („Studien aus den Ungarisch-Siebenbürgischen Trachytgebirgen“) schon am 24. April 1860 vollendet der k. k. geologischen Reichsanstalt in Wien vorgelegt wurde, während die „Gesteins-Analysen“ erst im Jahre 1861 der Oeffentlichkeit übergeben wurden. Es kommt wohl weniger auf den Namen als auf die Vereinigung der Gesteinsfamilie als Ganzes an, welche wir unabhängig von einander und beinahe gleichzeitig durchzuführen suchten. Da ich (S. 158 meiner Abhandlung) die Rhyolithgruppe wesentlich als Orthoklasgesteine charakterisirte, so scheint es unstatthaft, nach Herrn RORU's Vorschlag diesen Namen ausschliesslich auf Oligoklasgesteine zu übertragen. Auch würde eine solche künstliche Trennung die Gesteinsgruppe unnatürlich zerreißen. Noch ungeeigneter scheint es, von „Rhyolithen der Andesite“ und anderer Gesteine zu sprechen. Der den liparischen Inseln entnommene Localname dürfte auch deshalb nicht gut für die ganze Ordnung anwendbar sein, weil daselbst nicht alle Glieder derselben vorkommen, der Nevadit zum Beispiel von dort wohl nicht bekannt ist. Die porphyrische Structur bei felsitischer Grundmasse bedingt eine wohlgeschiedene Abtheilung unter den Rhyolithgesteinen; wenn ich vorschlage, für sie den Namen „Liparit“ beizubehalten, so geschieht dies, weil meines Wissens auf den Liparischen Inseln diese Ausbildungsform besonders charakteristisch vertreten ist.

goklas nur in Ausnahmefällen glasiert. Einzelne Abänderungen haben zum Verwechseln das Aussehen von Quarzporphyr.

3. Familie des eigentlichen Rhyoliths oder der lithoidischen und hyalinen Rhyolithe. — Bilden stromartig geflossene Massen, meist von rein vulkanischer Entstehung; zuweilen scheinen sie aus Spalten im älteren Andesitgebirge geströmt zu sein. Auch in der äusseren Beschaffenheit ist das geflossene Ansehen charakteristisch, und es tritt selbst bei Handstücken hervor. Der Ausdruck „natürliche Gläser“ findet besonders für die Gesteine dieser Familie Anwendung. Die Grundmasse ist zum Theil glas-, porcellan- und emailartig, zum Theil als langfaseriger Bimsstein, Perlit oder Obsidian ausgebildet. Sie ist häufig striemig und hat oft in mächtigen Massen die vorerwähnte lamellare Anordnung. Die hyalinen Rhyolithe zeichnen sich besonders durch ihre unbegrenzte Varietätenreihe aus. In wenigen Fällen enthält ihre Grundmasse keine Einschlüsse. Quarzkrystalle fehlen selten und sind oft in grosser Zahl eingeschlossen. Sanidin, häufig von Oligoklas begleitet, tritt meist hinzu. Hornblende scheint in diesen Varietäten nicht vorzukommen; Biotit ist zuweilen in zahlreichen Blättchen beigemischt, zuweilen fehlt er gänzlich. Sphärolithe und Lithophysen sind für die Gesteine dieser Familie besonders charakteristisch.

Zweite Ordnung: Trachytgesteine.

Geologisches Verhalten. — Nach der Trennung der Andesite von den Trachyten bleibt für letztere eine Reihe von Gesteinen, welche in Californien wie in den Karpathen die Nachläufer der Andesite und Vorläufer der Rhyolithe und Basalte waren.*) Sie sind in einzelnen Kuppen und Berggrücken dem Andesit- und Propylitgebirge aufgesetzt oder begleiten es in einiger Entfernung. Diejenigen Fälle, wo seine Ausbrüche eine isolirtere Stellung in den allgemeinen Verbreitungs-

*) In den Karpathen gehören hieher die Gesteine am Búdösch- und St. Anna-See bei Kronstadt und am Schloss Déva in Siebenbürgen. In Ungarn setzt es den Schlossberg von Regéczke, südlich von Eperies, und andere vereinzelte Kuppen zusammen. Trachyte spielen in den Karpathen eine sehr untergeordnete Rolle.

zonen vulkanischer Gesteine einnehmen, *) scheinen sehr selten zu sein. An Massenentwicklung steht der Trachyt weit hinter Andesit, Propylit und Basalt zurück, übertrifft aber den Rhyolith. In Europa insbesondere ist seine Rolle unbedeutend, wiewohl er an zahlreichen Orten vorkommt, und wird weit von derjenigen übertroffen, die er in den Anden spielt. Die Kette der Vulkane von Central-Amerika scheint nach den von MOR. WAGNER mitgebrachten und von OTTO PROELSS analysirten Gesteinsstücken **) vorwaltend aus Hornblende-Oligoklas-Trachyten (mit 60 bis 62 pCt. Kieselsäure) zu bestehen. Auf der Sierra Nevada und östlich von ihr treten Trachyte in grosser, wiewohl sporadischer Verbreitung auf. In Washoe, am Ostabfall der Sierra, bilden sie einen über 3 Meilen langen, schroffen Gebirgszug; in Esmeralda, weiter südlich an demselben Gebirgsabfall gelegen, nehmen sie einen beträchtlichen Antheil am geognostischen Bau der Gegend; ebenso an zahlreichen anderen Orten. Auch in den nördlichen Provinzen von Mexico sind sie verbreitet. Die überwiegende Masse des Trachyts scheint in der Mehrzahl dieser Gegenden Spaltenausbrüchen ihre Entstehung zu verdanken, wiewohl er auch häufig von Vulkanen ausgeworfen worden ist.

Petrographischer Charakter. — Trachyt besteht aus einer Grundmasse mit eingeschlossenen Krystallen von Sanidin, gemeinem oder glasigem Oligoklas, Biotit und Hornblende. Quarz fehlt als wesentlicher Gemengtheil, ***) und wahrscheinlich ist freie Kieselsäure überhaupt nicht vorhanden. Was die Zahl seiner Abänderungen betrifft, so steht der Trachyt nur dem Rhyolith nach. Die Grundmasse ist von sehr verschiedenen Färbungen und hat in grossen Eruptionsmassen wie in Lavaströmen gewöhnlich das kleinzellig aufgetriebene, charakteristisch trachytische Gefüge. Dichte, kryptokrystallinische Textur ist häufig, aber meist untergeordnet; †) sie wird lithoï-

*) Solcher Art scheint das Vorkommen des Trachyts im Siebengebirge zu sein.

**) LEONHARD und GEINITZ Jahrbuch, 1866, S. 847—866.

***) Die wenigen Beispiele der Anwesenheit von Quarz in der Mischung lassen ihn ebensowenig als wesentlichen Gemengtheil erscheinen als die zuweilen vorkommenden Augitkrystalle.

†) Solche Varietäten sind oft plattig abgesondert, geben einen hellen Klang, wenn sie mit dem Hammer angeschlagen werden, und enthalten

disch und glasartig, aber nie perlitisch. Sphärolithe sind häufig, aber Lithophysen kommen nicht vor. Die Bimssteine der Trachyte haben nicht die vollkommen seidenglänzende, langfaserige Beschaffenheit wie diejenigen der Rhyolithe, sondern nähern sich der rundporigen Structur. Lamellare Anordnung findet sich häufig, aber nie in ähnlicher Vollkommenheit, wie sie den Rhyolithen eigen ist.

Unterabtheilungen. — Texturabänderungen bedingen bei den Trachyten weniger durchgreifende Unterschiede als bei den Rhyolithen. Die mineralische Zusammensetzung giebt für jene das passendste Eintheilungsprincip. Wie die Rhyolithe von diesem Gesichtspunkt in quarzhaltige und quarzfreie zerfallen, so kann man sanidinhaltige und sanidinfreie Trachyte unterscheiden. *) Wir bedienen uns zu ihrer Bezeichnung der von B. v. COTTA angewendeten Namen:

1. Familie des Sanidintrachyts. — Die Färbung der Grundmasse ist vorherrschend grau, röthlich und rothbraun, meist von hellen Tönen. Wesentliche Gemengtheile sind: Krystalle von Sanidin allein, oder von Sanidin und Oligoklas, nebst Biotit und Hornblende. Letztere fehlt jedoch häufig.

2. Familie des Oligoklastrachyts. — Die Grundmasse hat dieselben Färbungen wie bei den Gesteinen der vo-

kleine, stark glänzende Feldspathkrystalle auf den Flächen der Platten. Es mag diesen Eigenschaften zuzuschreiben sein, dass, besonders von englischen Geologen, der Name „Phonolith“ sehr häufig für sie angewendet worden ist.

*) Wenn man mit Herrn ROTU die Anwesenheit von Sanidin als die Grenze der Anwendbarkeit des Namens „Trachyt“ betrachtet, so kommen unter die letztere Benennung, nach Abtrennung der Rhyolithe, nur noch sehr wenige und ganz untergeordnete Gesteine. Die Grenze zwischen Sanidintrachyten und Oligoklastrachyten ist unmerklich; der petrographische Charakter und das geologische Auftreten aber bringen sie in engen Verband. Wir glauben alle von Herrn ROTU unter dem Namen „Amphibol-Andesit“ zusammengefassten Gesteine den Trachyten zurechnen zu müssen, soweit sie nicht entweder unserer gleichnamigen Abtheilung entsprechen, oder (mit ROTU's Worten) „den alten Dioritporphyren mineralisch zum Verwechseln ähnlich“ sind. Diese letzteren gehören zu unseren Propyliten und sind den Trachyten im petrographischen wie im geologischen Verhalten ebenso unähnlich, wie etwa ein typischer alter Diorit dem Ilfelder Melaphyr. Die Unterscheidung einer besonderen Abtheilung der Sanidin-Oligoklas-Trachyte ändert natürlich nichts im Wesen der hier angewendeten Eintheilung

rigen Familie, aber dunklere Töne sind vorherrschend. Sie enthält Krystalle von Oligoklas, der häufig glasig ist, und Säulen von Hornblende mit glänzenden Spaltungsflächen.

Letztere fehlt, wie es scheint, sehr selten, und Biotit ist gewöhnlich ihr Begleiter. Titanhaltiges Magneteisen ist wahrscheinlich ein steter, wiewohl sehr untergeordneter Gemengtheil.

Die Gesteine dieser beiden Familien sind gewöhnlich vergesellschaftet, wiewohl an jeder Localität eine von ihnen an Masse vorwiegt. So bestehen die ausgedehnten Trachytzüge von Washoe und Esmeralda vorwaltend aus Sanidintrachyt und sind ganz untergeordnet von den Gesteinen der zweiten Familie begleitet, während diese das Material grosser Lavaströme des Lassen's Peak bilden, welche sich über 2 Meilen von der Ausbruchsstelle erstrecken; nur an der letzteren selbst treten in enger Begrenzung Sanidintrachyte hinzu. Ob sich in ihren Ausbrüchen ein bestimmtes gegenseitiges Altersverhältniss erkennen lasse, vermochte ich nicht zu entscheiden. Die Oligoklastrachyte, zu denen wahrscheinlich auch die Domite gehören, schwanken im Charakter so sehr zwischen Sanidintrachyten und Andesiten, dass sie bei geognostischen Beschreibungen selten mit Schärfe ausgeschieden werden konnten. Es scheint, dass sie an Masse die Gesteine der ersten Familie im Allgemeinen übertreffen.

Dritte Ordnung: Propylitgesteine.

Die Gesteine, welche hier unter dem Namen der Propylite zusammengefasst sind, haben in Beziehung auf ihre Nomenclatur, wie auf ihre Einreihung in die petrographischen Systeme, stets eine sehr unbestimmte Stellung eingenommen. Einerseits gab ihre äussere Verschiedenheit von anderen tertiären Eruptivgesteinen, mit denen sie zusammen vorkommen, einen Grund, sie nicht mit unter die allgemeine Benennung „Trachyt“ zu bringen, während andererseits das jugendliche Alter, die geologische Vergesellschaftung mit vulkanischen Gesteinen und die Besonderheiten einzelner Abänderungen sie von den alten Grünsteinen trennen. Zuweilen sind sie, ihres äusseren Ansehens wegen, als metamorphische Gesteine bezeichnet worden. In Ungarn und Siebenbürgen, wo sie als Träger bedeutender Silbererzgänge von Wichtigkeit sind, wurden sie zuerst von BEUDANT beobachtet und als „Porphyrartiges Grünstein-

gebirge“ bezeichnet. Er rechnete sie mit den Syeniten zum Uebergangsgebirge. Später wurden die ungarischen Gesteine mehrfach als „Diorit“, „Dioritporphyr“, „Grünstein“, „Grünsteinporphyr“ u. s. w. beschrieben, während ähnliche Gesteine von Mexico, Peru und Bolivia kurzweg als „Porphyr“ bezeichnet wurden. In der vorerwähnten Abhandlung (Studien etc.) trennte ich sie als „Grünsteintrachyt“ von den „Grauen Trachyten“, unter welchem Namen ich die Trachyte und Andesite zusammenfasste. Diese Benennungen waren zwar nur bestimmt, in Ermangelung bestehender Namen für den Gebrauch in jener Abhandlung selbst zu dienen. Doch ist seitdem der Name „Grünsteintrachyt“ häufig in demselben Sinne angewendet worden. Bei der gegenwärtigen Beschränkung des Namens „Trachyt“ ist indessen diese Benennung ganz unstatthaft geworden. J. ROTH führt die in Rede stehenden Gesteine unter den Amphibolandesiten, B. v. COTTA unter den Dioriten (nebst Erwähnung bei den Oligoklastrachyten) auf. In beiden Fällen werden sie mit geologisch wie petrographisch weit getrennten Gesteinen zusammengebracht. Es gehört hierher auch als untergeordnete Abänderung BREITHAUPT's „Timacit“, der nach dem Fluss Timak in Serbien benannt und durch die Hornblende-Varietät „Gamsigradit“ als wesentlichen Gemengtheil ausgezeichnet ist. Der Timacit (wie ich an einem von BREITHAUPT selbst an Herrn Hofrath HADINGER eingesandten Stück ersah) bildet eine wohl charakterisirte und nicht selten auftretende, stets aber ganz untergeordnete Varietät der Grünsteintrachyte. Es erscheint unstatthaft, den Namen, abweichend vom Sinn des Urhebers, auch auf solche verwandte Gesteine zu übertragen, welche keinen Gamsigradit enthalten, oder auf solche, welche am Fluss Timak nicht vorkommen.

Die sehr verschiedene Einreihung dieser Gesteine in die petrographischen Systeme, die Unbestimmtheit ihrer Nomenclatur, die Unklarheit, in welche sie bei geognostischen Localbeschreibungen gehüllt zu sein pflegen — alles Dies macht es wünschenswerth, sie zunächst als bestimmte Gruppe zusammenzufassen, der Gruppe ihre Stellung im System anzuweisen und einen bestimmten Namen an die Stelle der vielen unbestimmten Benennungen zu setzen. Da für ein so allgemein verbreitetes und zugleich so verschiedenartig auftretendes Gestein ein von einer Localität entnommener Name unstatthaft ist, und da

keine äussere Eigenschaft es vor den alten Grünsteinen durchgreifend kennzeichnet, so ging ich bei Bildung des obigen Namens von einem rein geologischen Gesichtspunkt aus. Wo immer diese Gesteine auftreten, haben sie die eruptive Thätigkeit eröffnet, welche nach langer Ruhe auf dem ganzen Erdball während der tertiären und posttertiären Zeit stattfand. Allenthalben sind sie die Vorläufer sämtlicher vulkanischer Gesteine und damit aller recenten vulkanischen Thätigkeit. Sie stehen gleichsam an der Pforte eines der ereignissreichsten Abschnitte in der Geschichte der Erde. Dieser Gesichtspunkt gab die Veranlassung zu dem Namen „Propylit.“

Geologisches Verhalten. — Das am meisten charakteristische Merkmal in der Geotektonik der Propylite ist ihr Auftreten als die Grundlage aller anderen vulkanischen Gesteine. Wo immer ihre Lagerungsverhältnisse untersucht worden sind, finden sie sich unmittelbar dem nicht vulkanischen Gebirge aufgesetzt und sind von Andesit, Trachyt und Rhyolith überlagert. Selten sind sie frei von solchen Auflagerungen, und nie sind die genannten Gesteine unter ihnen gefunden worden. Die Propylite bilden dadurch in geologischer Hinsicht eine natürlich abgesonderte Gesteinsgruppe. Obgleich anscheinend weit verbreitet auf der Erdoberfläche, nehmen sie doch, in Folge ihres eigenthümlichen Vorkommens, an der Zusammensetzung derselben nur in geringem Grade Antheil, da sie meist durch andere Gesteine bedeckt sind. Propylit bildet nicht selten das Gerüst vulkanischer Auswurfskegel, aber er selbst scheint in der Form von Lavaströmen nicht vorzukommen, sondern ausschliesslich Massenausbrüchen seine Entstehung zu verdanken. Solcher Art ist sein Vorkommen bei Schemnitz, Nagybánya, Felsöbánya, Borsabánya, Kapnik, Bisztritz und anderen Orten in Ungarn und Siebenbürgen, wie auch, nach STACHE's Beschreibungen, im siebenbürgischen Erzgebirge; ferner in Washoe, Silvermountain und Esmeralda am Ostabfall der Sierra Nevada und an anderen Orten weiter östlich im Great Basin, wo Herr WM. M. GABB kürzlich Handstücke von zahlreichen Localitäten sammelte; in den mexicanischen Provinzen Sonora und Sinalva, wo der mitten im Lauf seiner unermüdlichen und erfolgreichen Forschungen vom Tode entrissene AUGUSTE RÉMOND sie beobachtete; auf dem Hochland von Mexico, von wo sie unter dem Namen „Por-

phyr“ schon längst bekannt sind. Sie scheinen hier eine sehr bedeutende Verbreitung zu haben und allenthalben im engsten Verband mit den vulkanischen Gesteinen der anderen Ordnungen aufzutreten. Auch in Chile und Bolivia müssen sie, nach den Beschreibungen von DAVID FORBES, eine hervorragende Rolle im Gebirgsbau spielen; ebenso in Armenien, wo das Gerüst des Pic Demavend aus Propylit besteht und, nach ABICH, am Ostufer des Kaspischen Meeres. Trotz der Ähnlichkeit mit alten Grünsteinen, lässt sich doch in den Karpathen das tertiäre Alter des Propylits mit völliger Sicherheit nachweisen. Die Gleichartigkeit seiner Vergesellschaftung mit anderen tertiären Eruptivgesteinen an allen Orten, wo er bisher gefunden worden ist, erlaubt den Schluss, dass er allenthalben von nahezu gleichem Alter und der Bahnbrecher der Andesite und Trachyte gewesen ist. In Washoe lässt sich sein Alter nicht bestimmen, da dort nur ältere Formationen vorkommen, die er überlagert. In Betreff der mexicanischen Propylite haben die Beobachtungen ergeben, dass sie jünger sind als die Kreideformation und älter als alle anderen vulkanischen Gesteine.

Propylite sind häufig für an Ort und Stelle metamorphosirte Sedimente gehalten worden. Der Grund ist wohl der, dass es unzweifelhafte plutonisch metamorphische Gesteine giebt, welche mit Propylit die Ähnlichkeit mit manchen Abänderungen der Diorite theilen. Doch giebt es in ihren Lagerungsverhältnissen vielfache Belege ihres eruptiven Ursprungs. In Siebenbürgen durchsetzen sie in grossen Gangmassen die Gesteine der Nummulitenformation; in Washoe und Silvermountain, wie auch bei Kapnik, kommen mächtige Massen von Reibungsconglomeraten und Eruptivtuffen vor. Zuweilen findet man sie in dicken Bänken abgelagert, die mit feinerdigen, Pflanzenreste führenden Tuffschichten wechsellagern. Sehr häufig sind gangförmige Durchbrüche von Propylit durch Massen desselben Gesteins, welche bereits erstarrt waren, oder auch durch die genannten Anhäufungen von Tuffgesteinen.

Eine wichtige geologische Eigenthümlichkeit, die dem Propylit ein practisches Interesse verleiht, ist das Vorkommen bedeutender Silbererzgänge, welche in den Karpathen, an mehreren Orten in Mexico, in Washoe (auch in Esmeralda und Silvermountain) und wahrscheinlich in Bolivia darin aufsetzen

und den Eruptivgesteinen der nachfolgenden Zeit entweder fehlen, oder nur in sehr beschränktem Maasse eigen sind. Kein Gestein liefert wahrscheinlich eine gleiche Silberausbeute wie der Propylit.

Petrographischer Charakter. — Der Propylit verbindet die äusseren Merkmale der alten Grünsteine, besonders der Diorite, mit denen der Andesite und Oligoklastrachyte. Die meisten Abänderungen neigen sich den ersteren zu, andere sind den beiden letzten ähnlicher. Die Textur ist wesentlich porphyrisch, und die zahlreichen Varietäten werden weniger durch die Schwankungen derselben veranlasst als durch die relative Grösse und Menge der einzelnen Bestandtheile. Die Grundmasse ist gewöhnlich ein feinkörnig krystallinisches Gemenge, selten wird sie dicht, niemals, so weit die Beobachtungen reichen, hyalin. Ihre vorherrschende Färbung ist grünlichgrau, doch finden sich braune, schwärzliche und röthliche Farben, die aber fast stets einen grünlichen Ton haben. Eingemengt sind deutliche Krystalle von grünlichem, selten weissem, gemeinem Oligoklas und dunkelgrüner, faseriger Hornblende. In einigen Abänderungen, besonders in BREITHAUPT's Timacit, ist die Hornblende schwarz und hat glänzende Spaltungsflächen. Diese Gesteine, bei denen auch die grüne Färbung der Grundmasse am meisten zurücktritt und einer aschgrauen Platz macht, finden sich, ausschliesslich wie es scheint, als Gangmassen in den eigentlichen Propyliten. Es scheint, dass die beiden eingeschlossenen Mineralien, Oligoklas und Hornblende, zusammen mit titanhaltigem Magneteisen, auch die Grundmasse des Gesteins zusammensetzen, und dass diese ihre Färbung der feinen Vertheilung faseriger Hornblende verdankt. Selten sind die eingeschlossenen Krystalle so vorwaltend über die Grundmasse, dass sie dieselbe beinahe ausschliessen. Ebenso selten ist die Grundmasse allein vertreten. Zuweilen ist diese von zahlreichen, aber sehr kleinen, weisslichen Feldspathkrystallen und einzelnen grösseren Hornblendesäulen erfüllt. Häufiger haben jene einen Durchmesser von 1 bis 3 Linien und bedingen ein vollkommen porphyrisches Gefüge. Die Hornblende ist in solchen Fällen gewöhnlich in zahllosen kleinen schwärzlichgrünen Nadeln oder kurzen säulenförmigen Körnern ohne bestimmte Krystallform beigemengt. Ausser diesen wesentlichen Mineralien findet sich zuweilen Biotit und

gewöhnlich vereinzelte Körner von Augit. Doch wird der letztere in einzelnen Abänderungen zum vorwaltenden Gemengtheil. Andere Abänderungen enthalten gerundete Quarzkörner, die charakteristisch werden können. Ich fand sie als regelmässigen Gemengtheil in dem Propylit, welcher die Erzgänge von Nagybánya führt und an einigen anderen Orten im östlichen Ungarn und Siebenbürgen. Augitkrystalle scheinen in solchen Varietäten nicht vorzukommen. Der Quarzgehalt dehnt die angedeutete Analogie der Propylite mit älteren Gesteinen auch auf die quarzführenden Diorite aus.

Unterschied des Propylits von verwandten Gesteinen. — Unter den Gesteinen, welche dem Propylit in Beziehung auf mineralische Zusammensetzung verwandt sind, ist zunächst der Diorit zu erwähnen. Beide stehen einander sehr nahe, da auch ähnliche Textur die vorwaltenden Abänderungen beider verbindet. In anderen Varietäten weichen sie von einander ab. Die Propylite mit schwarzer Hornblende zum Beispiel, welche auch gewöhnlich eine porös aufgeblähte Grundmasse nach Art des Trachyts (wiewohl unvollkommener) haben, finden kein Analogon unter den Dioriten. Allein der Hauptunterschied ist die gänzlich abweichende geologische Stellung, welche stets ein sicheres Merkmal abgiebt.

Eigenthümlich ist die gegenseitige Stellung der drei Gesteinsgruppen: Hornblende-Propylit, Oligoklastrachyt und Hornblende-Andesit. Die Gesteine einer jeden bestehen wesentlich aus Hornblende und Oligoklas, und in jeder sind Krystalle dieser beiden Mineralien in einer Grundmasse eingeschlossen, die wesentlich ein feines Gemenge derselben Mineralien zu sein scheint. Dennoch ist Propylit so verschieden von den beiden anderen Gruppen, dass er in geognostischen Beschreibungen stets abgesondert worden ist und selbst der Laie seine charakteristischen Unterschiede in einer Sammlung von Handstücken sofort erkennen wird. Allein der petrographische Unterschied lässt sich mit den gegenwärtig zu Gebote stehenden Mitteln nicht in Worten beschreiben. Er beruht auf einer Gesamtheit von Eigenschaften, die man als „Habitus“ bezeichnen möchte. Er ist ebenso dem Auge klar erkennbar, als es an einem wissenschaftlichen Ausdruck für seine Merkmale fehlt und an einer Erkenntniss der Ursachen, welche sie bedingen.

Gewisse kleinliche Unterschiede, die sich der Beobach-

tung bieten, mögen hier bemerkt werden. Propylit hat wesentlich grüne Färbungen und das Ansehen von Diorit; Andesit ist schwärzlich und nähert sich dem Basalt, während grünliche und schwärzliche Färbungen unter der bunten Farbenreihe des Trachyts am seltensten sind, und sein allgemeiner Gesteinscharakter ihn dem Rhyolith nahe stellt. Der Oligoklas ist oft glasisch im Trachyt, nicht so in den beiden anderen Gesteinen; Hornblende ist ein wesentlicher Gemengtheil der Grundmasse von diesen, scheint aber in der des Trachyts zum mindesten in geringerer Menge vorzukommen; sie ist gewöhnlich grün und faserig im Propylit, während sie im Andesit und Trachyt schwarze Färbung und glänzende Spaltungsflächen hat. Glimmer ist mehr charakteristisch für Trachyt als für die beiden anderen Gruppen, wogegen diese sich durch die erhebliche Beimengung von Magneteisen auszeichnen, das jener in geringerem Maasse enthält. Propylit hat unter den drei Gesteinsgruppen die vollkommenste porphyrische Textur; der Name „Porphyr“, mit dem er häufig bezeichnet worden ist, ist auf die Gesteine keiner der beiden anderen Ordnungen angewendet worden.

Alle diese Verschiedenheiten drücken indess keineswegs den durchgreifenden Unterschied der drei Gesteine im äusseren Ansehen aus. Allein wenn auch die Ergründung seines Wesens der Anwendung feinerer Beobachtungsmittel vorbehalten bleiben muss, so ist doch das Bestehen von drei Gruppen von Hornblende-Oligoklas-Gemengen unter den vulkanischen Gesteinen als eine durch Beobachtung festgestellte Thatsache zu betrachten, um so mehr als die geologischen Verhältnisse den petrographischen Unterschied unterstützen und wahrscheinlich theilweise bedingen. Die drei Gesteinsreihen sind in ihrem Auftreten wohl geschieden: Propylite gingen den anderen im Alter voran; ihnen folgten die Andesite und später die Trachyte.

Unterabtheilungen. — Fast alle Propylite sind Hornblende-Oligoklas-Gesteine und bieten unwesentliche Unterschiede dar. Wir wiesen jedoch auf Abänderungen hin, welche durch das Ueberhandnehmen von Augit veranlasst werden und die Unterscheidung einer besonderen Abtheilung rechtfertigen. Dazu hat nun vor Kurzem G. STACHE Abweichungen vom Normalgemenge gefunden, welche durch das Ueberhandnehmen eingemengter Quarzkörner verursacht werden. Die dahin gehörigen

Gesteine scheinen eine wohl charakterisirte Abtheilung zu bilden. Die folgenden Familien scheinen, wegen ihrer getrennten Verbreitung, auch vom geologischen Gesichtspunkt eine gewisse Selbstständigkeit zu haben:

1. Familie des Dacits oder Quarz-Propylits.*)

*) Erst nach Beendigung dieser Abhandlung kam mir die vortreffliche Arbeit meines Freundes G. STACHE über die tertiären Eruptivgesteine in Siebenbürgen (in FR. v. HAUER und STACHE, Geologie Siebenbürgens, Wien 1863, S. 44 bis 102) zu, ein Schatz von exacten Beobachtungen, wie ihn vorher nur BEUDANT in Betreff der entsprechenden Gesteine von Ungarn geliefert hatte, und von ausserordentlichem Werth für die Classification dieser Gesteine, da die geologische Literatur nur wenige Abhandlungen von ähnlicher Vollständigkeit über so complicirte Eruptionsgebiete der Tertiärperiode aufzuweisen hat. Es scheint mir, dass die darin niedergelegten Beobachtungen eine vollständige Bestätigung und Ergänzung der in diesen Blättern dargestellten Resultate geben, wiewohl der Verfasser in Betreff einiger untergeordneter Punkte eine etwas abweichende Erklärung vorschlägt. Auch dort sind Grünsteintrachyte oder Propylite die ältesten Eruptivgesteine der Tertiarzeit (S. 93), Andesit gehört einer späteren Zeit an (S. 96), Trachyt wird als jünger als Andesite beschrieben (S. 65). Es folgt Rhyolith (S. 98), und Basalt schliesst die Reihe als das jüngste Gebilde (S. 100). Nur in Beziehung auf ein Gestein bietet das westliche Grenzgebirge von Siebenbürgen seine Besonderheit. Dies ist, was STACHE als die „älteren Quarztrachyte“ oder „Dacite“ bezeichnet, eine Reihe von Gesteinen, welche dort in engem Verband mit quarzfreien Grünsteintrachyten auftreten, deren Textur und im Wesentlichen deren mineralische Zusammensetzung theilen, sich aber durch stete Quarzföhrung auszeichnen. Sie folgen im Alter unmittelbar auf die quarzfreien Grünsteintrachyte und gehen den Andesiten voran. Wenn ich es wagen darf, gestützt auf die genauen petrographischen und geognostischen Beschreibungen, eine Meinung über diese Gesteine auszusprechen, so geht sie dahin, dass sie einen Theil der Ordnung der Propylite bilden. Es wurde bereits im Vorhergehenden erwähnt, dass Propylit häufig Quarzkörner enthält, und dass diese charakteristisch werden können, wie ich dies im Jahr 1858 am Grünsteintrachyt von Nagybánya beobachtet hatte. Seit dem Schluss der vorliegenden Abhandlung wurden mir auch Gesteine vom nördlichen Mexico (Provinzen Sonora und Sinalva) bekannt, welche unzweifelhaft Propylite sind und sich durch nicht unbedeutenden Quarzgehalt auszeichnen. Im westlichen Siebenbürgen tritt nach STACHE's Beschreibung dieses Merkmal noch bestimmter hervor; die Menge der Quarzkörner ist bei mehreren Varietäten grösser als bei den Gesteinen von Nagybánya und Mexico. Da aber im Uebrigen diese Gesteine wesentlich Oligoklas-Hornblende-Gemenge von dunklen Färbungen sind und nur bei einigen noch Sanidin untergeordnet hinzutritt, so dürfte es gewagt sein, sie, nur

2. Familie des Hornblende-Propylits. — Wesentlich Oligoklas-Amphibol-Gesteine von der in der allgemeinen

wegen des Quarzgehalts, zu den übersauren chemischen Gemengen zu stellen, ehe dies durch die Analyse erwiesen ist. Mag auch ihr Kieselsäuregehalt höher sein als der der quarzfreien Grünsteintrachyte, so mögen sie doch und werden wahrscheinlich in dieser Beziehung noch immerhin unter der Zusammensetzung der Rhyolithe bleiben; die Ausscheidung von Quarz mag durch Besonderheiten der Zusammensetzung oder durch eigenthümliche Verhältnisse, unter denen die Masse flüssig wurde und erstarrte, verursacht worden sein. Die Besonderheit der Ausbildung, analog den Grünsteinen alter Zeiten, ist es, was die Propylite neben ihrem geologischen Verhalten auszeichnet; denn in chemischer Beziehung wie in mineralischer Zusammensetzung sind ihre Haupttypen, wie vorher bemerkt, von Oligoklas-Trachyten und Hornblende-Andesiten nicht verschieden, soweit Analysen und Beobachtungen vorliegen. Wie nun manche Propylite durch ihre augitische Beimengung bis zu dem entsprechenden Gemenge der Augit-Andesite hinabgehen, so mögen andere, bei denen Quarz hinzutritt, in umgekehrter Richtung bis zu der entsprechenden chemischen Zusammensetzung der Orthoklas-Trachyte hinaufgehen. Wie Umstände, die sich gegenwärtig noch nicht ergründen lassen, die Erstarrung des anscheinend gleichen Gemenges in einem Fall zu Hornblende-Propylit, im anderen zu Oligoklas-Trachyt veranlassten, so mögen sie, bei einer anderen chemischen Zusammensetzung mit höherem Gehalt an Kieselsäure, bewirkt haben, dass sich in einem Fall Quarz neben Hornblende und Oligoklas ausschied, während in einem anderen Orthoklas, Oligoklas und Glimmer als die Bestandtheile bei der Erstarrung hervorgingen.

Eins ergibt sich klar aus der Beschreibung von STACHE. Dies ist die geologische Zusammengehörigkeit seiner Grünsteintrachyte und älteren Quarztrachyte in eine Gruppe. Ein Eruptionsgebiet verbindet beide, und in demselben bilden sie gemeinschaftlich die Vorläufer der Andesite. Die Dacite durchsetzen die Grünsteintrachyte und theilen mit ihnen, gegenüber allen späteren Eruptivgesteinen der Gegend, das eigenthümliche Merkmal, dass die Erzgänge in ihnen auftreten.

Die Dacite sind von den Rhyolithen petrographisch wohl verschiedenen. Nur STACHE'S Abtheilung der „granito-porphyrischen Quarzporphyre oder Dacite“ (S. 74) enthält einzelne Gesteine, welche nach der Beschreibung unserem „Nevadit“ ausserordentlich nahe stehen. Da sie in der Zusammensetzung von den anderen Daciten erheblich abweichen und es gerade für diese Abtheilung in Siebenbürgen an Beweisen zu fehlen scheint, dass ihre Gesteine älter als Andesit sind, so dürfte es wohl weiterer Untersuchung vorbehalten sein, zu entscheiden, ob sie wirklich eine Abtheilung der Dacite und somit der Propylite und älter als Andesit sind, oder ob sie diesem im Alter folgen und zu den Rhyolithen gehören. Besonders zweifelhaft scheint die Stellung des Csetátye-Gesteins zu sein, das einen entschieden rhyolithischen Charakter hat

Beschreibung dargestellten Beschaffenheit. Hierher gehören bei Weitem die Mehrzahl der bekannten Propylite, unter anderen diejenigen von Washoe, von Kapnik, Nagybánya und anderen Orten in den Karpathen, auch der Timacit.

3. Familie des Augit-Propylits. — Gesteine wenig verschieden von den vorhergehenden. Augit tritt als wesentlicher Gemengtheile neben Hornblende auf und übertrifft sie häufig an Menge. Diese Gesteine fand ich in beträchtlicher Massenausbildung nur bei Silvermountain, am Ostabhang der Sierra Nevada.

Vierte Ordnung: Andesitgesteine.

Geologisches Verhalten. — Andesit ist in der Sierra Nevada, und wahrscheinlich in der ganzen Kette der Andes, sowie in den Karpathen, bei Weitem vorherrschend unter den neueren Eruptivgesteinen. In seiner allgemeinen Verbreitung auf der Erdoberfläche wetteifert er nur mit Basalt an Massenhaftigkeit des Auftretens und übertrifft ihn wahrscheinlich in dieser Beziehung. Die Andesite folgten in ihren Ausbrüchen zunächst auf die Propylite, wo diese vorhanden waren, und überlagern sie; sie gingen den Trachyten und Rhyolithen voran, denen sie gewissermaassen den Weg gebahnt zu haben scheinen. Die Art ihres Auftretens in mächtigen Gebirgszügen lässt schliessen, dass sie vorwaltend durch Massenausbrüche an die Oberfläche gelangten. Doch sind auch Andesit-Vulkane nicht selten und scheinen besonders grossartig gewesen zu sein.

und doch von COTTA für das älteste Gestein von Vöröspatak, ja für älter als die Grünsteintrachyte gehalten wird (HAUER und STACHE, S. 72, 77, 528). STACHE widerlegt diese Ansicht, wagt jedoch nicht, dem Gestein ein bestimmtes Alter anzuweisen. Allein in allen Fällen kann eine kleine, örtlich beschränkte Ausnahmserscheinung nicht das allgemeine Gesetz umstossen. Wo örtliche Umschmelzungen und, dadurch veranlasst, Eruptionen von fremdartigem Gesteinsmaterial, dessen Zusammensetzung scheinbar mit den allgemeinen Gesetzen nicht im Einklang sein würde, so sehr im Bereich der Wahrscheinlichkeit liegen wie bei den Vorgängen, welche die vulkanischen Massenausbrüche begleitet haben müssen, kann es nur unsere Verwunderung erregen, dass Ausnahmserscheinungen so selten vorkommen. Begegnet man ihnen, so hat man sie zunächst als Besonderheit aufzufassen. Denn es ist nur die Wiederholung derselben Erscheinung in verschiedenen Gegenden und unter verschiedenen Verhältnissen, welche das Gesetzmässige anzeigt.

Wahrscheinlich sind sie meistens zerstört und nur ihre Ueberreste der Beobachtung zugänglich. Das hervorragendste Beispiel eines Andesitvulkans in Californien ist Lassen's Peak, dessen interessante Verhältnisse in der Folge ausführlicher beschrieben werden sollen. In anderen Gegenden, besonders in Südamerika, sind Andesitvulkane bekanntlich noch jetzt thätig.

Petrographisch Gesteine von dunklen, meist schwärzlichen Farben. Es lassen sich zwei

Unterabtheilungen unterscheiden, die durch zahlreiche Zwischenstufen wie durch das geologische Auftreten zu einem Ganzen verbunden sind, während zum Oligoklastrachyt, zum Propylit und zum Basalt nur petrographische Annäherung stattfindet, in geologischer Beziehung aber die Andesite von ihnen getrennt sind.

1. Familie des Hornblende-Andesits. — Grundmasse dunkelgrau und bläulichschwarz, auf Verwitterungsflächen zuweilen hellgrau, zuweilen braunroth. Das Gefüge ist feinkörnig krystallinisch mit Uebergängen in dichte und obsidianartige Textur, im ersteren Falle oft porös bei braunrother Färbung des ganzen Gesteins. Darin liegen kleine, zuweilen sehr deutliche, tafelartige Krystalle von Oligoklas und in grosser Zahl kleine Säulen von schwarzer Hornblende, viel titanhaltiges Magneteisen in feinen Körnern, selten Biotit, gewöhnlich vereinzelt Säulen oder unregelmässige Körner von Augit. In vielen Fällen besteht das ganze Gestein anscheinend nur aus einer kleinkrystallinischen Mischung dieser Mineralien, und zuweilen sind diese nur durch Vergrösserung erkennbar.

2. Familie des Augit-Andesits. — Die Gesteine dieser Familie unterscheiden sich von denen der vorigen durch Ueberhandnehmen des Augits über die Hornblende, einen grösseren Gehalt an Magneteisen und wahrscheinlich das Hinzutreten von Labradorit zu Oligoklas. Sie spaltet sich in zwei Abtheilungen, die schon bei Hornblende-Andesiten, wie wohl nicht so deutlich, zu erkennen sind und dadurch hervor gebracht werden, dass entweder der feldspathige oder der augitische Gemengtheil bei oberflächlicher Beobachtung mehr hervortritt. Sie sind wahrscheinlich verschiedene Modificationen des gleichen chemischen Gemenges und ihre Unterschiede in den genetischen Beziehungen begründet. Ich kann dieselben hier nur ganz oberflächlich angeben, doch sind sie einer ein-

gehenderen Untersuchung wohl werth und sollten durch besondere Benennungen unterschieden werden. Die Gesteine der ersten (feldspathigen) Abtheilung haben eine dunkel ölbraune bis braunschwarze Färbung, ein gewöhnlich dichtes Gefüge der Grundmasse, sind sehr zäh und enthalten undeutlich begrenzte tafelfartige Krystalle eines triklinoëdrischen Feldspaths (wahrscheinlich Labradorit), die oft eine erhebliche Grösse erreichen, viel Magneteisen, aber nur wenig erkennbaren Augit. Die Felsformen sind gewöhnlich rundlich, und die Verwitterung von Blöcken schreitet in concentrischen Schalen fort. Bei den Gesteinen der zweiten (augitischen) Abtheilung giebt sich auf den ersten Blick der Augit als Gemengtheil zu erkennen, während das feldspathige Mineral nur in sehr kleinen, wiewohl zahlreichen Krystallen durch die Grundmasse vertheilt ist. Der Augit bildet grössere, oft wohlbegrenzte Krystalle, die in nicht unbedeutender Anzahl im Gestein liegen, und ist häufig von breiten Säulen von Hornblende begleitet. Die Färbung des Gesteins ist aschgrau bis schwärzlichgrau, die Grundmasse hat ein kryptokrystallinisches Ansehen und ist gewöhnlich porös aufgetrieben. In Felsmassen pflegt sich das Gestein durch scharfkantige Formen auszuzeichnen; durch Verwitterung bildet sich eine dünne Rinde. Die Absonderung in grossen Massen ist oft säulenförmig. Die Augitandesite sind auch mit dem Namen Trachydolerite bezeichnet worden. Für welche der beiden Abtheilungen er von ABICH aufgestellt wurde, ist mir nicht bekannt. Doch ist er wohl die passendste Benennung für die Gesteine der zweiten Abtheilung, da nur diese durch die poröse Auftreibung, die graue Färbung und die glänzenden Hornblendsäulen an Trachyt erinnern. Auch der Name Anamesit ist auf Gesteine dieser Familie angewendet worden. *)

*) J. ROTH (Gesteins-Analysen) unterscheidet ebenfalls zwei Abtheilungen des Andesits unter den hier angewendeten Benennungen, allein in ganz anderem Sinn und wohl kaum im Einklang mit den natürlichen Abtheilungen, indem der „Amphibol-Andesit“ von ROTH nicht nur unserem Oligoklastrachyt nebst den Domiten, sondern auch die Propylite und ausserdem wahrscheinlich noch alle Gesteine umfasst, welche wir selbst als Hornblende-Andesit bezeichnen. Die Augit-Andesite sind hier in ähnlicher Ausdehnung gefasst, wie sie in den „Gesteins-Analysen“ zu haben scheinen, wiewohl mit der Aenderung, dass dort logischer Weise die Augit-Propylite mit unter dem Namen begriffen sein müssten. In

Hornblende-Andesit und Augit-Andesit sind nicht nur petrographisch, sondern auch geologisch zwei wohl geschiedene natürliche Gruppen und bilden dennoch, anderen vulkanischen Gesteinen gegenüber, eine zusammengehörige grosse Abtheilung. Andesitgebirge bestehen gewöhnlich sehr vorwaltend aus den Gesteinen der ersten Familie und sind auch in ihren Oberflächenformen sehr einförmig. Die grösste Abwechslung in diesen wird durch das massenhafte Auftreten von groben Reibungsconglomeraten verursacht, die keinem Andesitgebirge fehlen, und deren leichte Zerstörbarkeit sie in castellartigen Felsen und langen Mauern anstehen lässt, während das Wasser sich in ihnen steile Betten eingräbt. Aenderungen im Gesteinscharakter durch Verschiedenheit der Textur sind selten. Dagegen werden sie vielfach durch das Auftreten augitischer Abänderungen verursacht, die in allen grösseren Andesitgebirgen vorzukommen scheinen, aber an Masse stets untergeordnet bleiben. In Ungarn und in der Hargitta in Siebenbürgen sind sie sehr häufig und stets jünger als die grosse Masse der Hornblende-Andesite, aus denen jene Gebirge fast ausschliesslich aufgebaut sind. Besonders durchbrechen sie gern die Reibungsconglomerate. Die schalige Absonderung der Gesteine der feldspathigen Abtheilung der zweiten Familie bewirkt ihre Verbreitung in grossen gerundeten Blöcken, denen man zum Beispiel in grosser Menge an allen Uebergängen von Ungarn nach der Marmarosch begegnet. Im nördlichen Californien, besonders in den vulkanischen Hochländern gegen Oregon und Idaho, scheinen augitische Andesite in aussergewöhnlicher Verbreitung vorzukommen. Wo sie aber in Verbindung mit Hornblende-Andesiten auftreten, ist ihr jüngerer Alter zweifellos. Dasselbe Altersverhältniss zwischen den Gesteinen beider Ab-

B. v. COTTA's „Gesteinslehre“ umfasst der „Oligoklastrachyt“ unser gleichnamiges Gestein (nebst Erwähnung der Timacite), der „Andesit“ aber unsern Hornblende-Andesit. Wiewohl der Name „Andesit“ in dieser Fassung dem Andesgestein viel mehr entsprechend ist als in der vorigen, so dürfte es doch gerechtfertigt sein, den Augit-Andesit, der dort als „Trachydolerit“ abgetrennt wird, damit zu vereinigen, da eine Reihe von Uebergangsstufen, ebenso wie das geologische Vorkommen, beide eng verbinden. Was RONA als die „Rhyolithe der Andesite“ bezeichnet, beruht, wie erwähnt, auf einer irrthümlichen Auffassung des Namens „Rhyolith“.

theilungen des Andesits und dieselbe Zusammengehörigkeit fand ich bei Nangasaki in Japan und auf Java. Petrographisch bilden die Augit-Andesite einen entschiedenen Uebergang zu Basaltgesteinen. Geologisch aber sind sie vollständig von diesen getrennt.

Fünfte Ordnung: Basaltgesteine.

Geologisches Verhalten. — Die Basaltgesteine bilden in höherem Grade als die vorhergehenden Ordnungen (vielleicht mit Ausnahme der Propylite) ein geologisch geschlossenes Ganzes, in Hinsicht auf ihre Eruptionsperiode wie auf ihre räumliche Verbreitung. Sie waren allenthalben das letzte Glied unter den Massenausbrüchen der tertiären und nachtertiären Zeit und wurden von Ausbrüchen anderer Gesteine nur überdauert, insoweit diese als Laven von vulkanischen Schläunden entströmten. Es scheint, dass basaltische Eruptionen erst nach der Epoche des Rhyoliths ihren Anfang nahmen. Allein in Beziehung auf ihre örtliche Verbreitung sind beide Gesteine gewöhnlich getrennt, und eine ähnliche Unabhängigkeit bewahrt Basalt gegenüber der Gesammtheit der ihm im Alter vorangegangenen vulkanischen Gesteine. Zum Theil allerdings bricht er in deren unmittelbaren Nachbarschaft hervor, durchsetzt sie und breitet sich über ihnen aus. Aber häufiger begleitet er ihre Gebirge in einiger Entfernung und bildet Züge isolirter Durchbrüche, die oft scheinbar keinen inneren Zusammenhang mit jenen haben. Geologische Beobachtung jedoch zeigt, dass Basalt stets, auch wenn er noch so isolirt auftritt, den grossen Eruptionsgebieten der vulkanischen Gesteine angehört, innerhalb derselben aber seine eigene, in gewissem Grade unabhängige Verbreitung hat, während Propylit, Andesit, Trachyt und Rhyolith enger an einander gebunden sind. Oft finden sich weite Unterbrechungen in den grossen Zügen dieser Gesteine. Solche Lücken werden nicht selten von Reihen isolirter Basaltausbrüche ausgefüllt, und dadurch die vorher getrennten Theile vulkanischer Zonen zu einem Ganzen vereinigt. Eine beachtenswerthe Erscheinung ist das Auftreten solcher isolirter Basaltausbrüche in Granitgebirgen oder an deren Fuss. Das vulkanische Gestein pflegt dann den Granit in zahlreichen Gängen zu durchziehen und in ausgebreiteten Decken zu überlagern. An dem steilen, granitischen Ostabsturz der Sierra Nevada sind Bei-

spiele dieser Art nicht selten, eines der lehrreichsten bietet das Coso-Gebirge. Basaltische Gesteine sind bekanntlich unter den Laven der jetzt thätigen Vulkane bei Weitem vorherrschend, und die Zahl erloschener Basaltvulkane ist überaus gross. Noch weit bedeutender aber scheinen seine Massenausbrüche gewesen zu sein, wenn man die ausserordentliche Ausdehnung in Betracht zieht, welche basaltische Tafelländer in Oregon, in Ost-Indien und, wie aus Berichten hervorzugehen scheint, in Abyssinien erreichen.

Petrographischer Charakter. — Die Basaltgesteine als Gesammtheit sind durch ihre der „normalpyroxenischen“ sich nähernde Zusammensetzung wie durch ihr hohes specifisches Gewicht und den geringen Grad ihrer Texturabänderungen der Gegensatz der kieselsäurereichen und leichten Rhyolithe und haben keinen der wesentlichen mineralischen Gemengtheile mit ihnen gemein. Als wesentlich unter den ausgeschiedenen Mineralien dürfen wohl nur Labradorit, Augit und titanhaltiges Magneteisen betrachtet werden, und es scheint, dass sie auch die Grundmasse zusammensetzen. Zuweilen bildet das feinkörnige Aggregat ihrer Krystalle allein das Gestein. Häufiger ist porphyrische Textur, wiewohl nie so vollkommen wie bei den Augitporphyren der mesozoischen Zeit. Meist verschwinden die ausgeschiedenen Krystalle vollständig, und es bleibt nur die dem Auge beinahe homogen erscheinende Grundmasse. Das Gefüge der letzteren ist gewöhnlich mikrokrystallinisch und geht häufig in das Lithoidische über. Hyaline Textur ist nur durch die basaltischen Obsidiane vertreten. Viele basaltische Gesteine weichen bekanntlich von diesem einfachen Haupttypus ab, indem der Labradorit zuweilen durch Leucit, Nephelin oder zeolithische Substanz vertreten ist, und wichtigere accessorische Gemengtheile, wie Olivin, basaltische Hornblende, Häüyn, Apatit und schwarzer Glimmer nebst mehreren anderen minder wichtigen, an der Zusammensetzung theilnehmen. Eine charakteristische Eigenschaft basaltischer Gesteine ist die Art der inneren Auftreibung ihrer Masse. Die lithoidischen Abänderungen, welche oft ein schlackenartiges, striemiges Ansehen haben, enthalten häufig runde, glattwandige Zellen in grosser Zahl und sind, wenn diese sich häufen, völlig schwammartig aufgetrieben. Solche Gesteine vertreten das Bimssteingefüge der kieselreicheren Gemenge, dem sie jedoch in Hin-

sicht auf die vollkommene Auftreibung der Gesteinsmasse niemals nahe kommen. Andere Abänderungen, von lithoidischer und mikrokrySTALLINISCHER Textur, sind zuweilen mit sehr kleinen, unregelmässig gestalteten und glattwandigen Poren dicht erfüllt, nach Art der trachytischen Textur. Den basaltischen Gesteinen, nebst den basischeren Andesiten, allein eigenthümlich ist das Vorkommen grösserer gerundeter Zellen in Verbindung mit dieser porösen Textur.

Unterabtheilungen. — In keiner Ordnung der vulkanischen Gesteine hat sich die Absonderung der ganzen Ordnung sowohl, wie die Unterscheidung der beiden wichtigsten Unterabtheilungen seit ihrer Aufstellung so bestimmt erhalten wie bei den Basaltgesteinen. Der Name „Basalt“ ist einer der ältesten in der Petrographie und scheint stets in gleichem Sinne angewendet worden zu sein. Die Trennung des Dolerits vom Basalt ist ursprünglich auf das Gefüge und das dadurch bedingte verschiedenartige Aussehen des Gesteins begründet gewesen, ist aber zweifellos durch tieferliegende Ursachen gerechtfertigt, welche mit der Entstehung der beiden Gesteine zusammenhängen. Denn es ist wohl zu beachten, dass Dolerit stets eigene Ausbruchsmassen bildet und nicht in Basalt übergeht, gewöhnlich auch beide örtlich getrennt sind. Es scheint, dass wir es auch hier mit einem von jenen Fällen zu thun haben, wo das gleiche chemische Gemenge unter Umständen, die uns gleich erscheinen, aus uns unbekanntem Ursachen zu verschiedenartigen Gesteinen ausgebildet worden ist. Dies gilt in ähnlicher Weise von dem Verhältniss von Leucitophyr zu Basalt und Dolerit. Wir unterscheiden nach herkömmlichem Gebrauch:

1. Familie des Dolerits (nebst Nephelindolerit und dem grösseren Theil von „Anamesit“). MikrokrySTALLINISCHES Gemenge von Augit, Labradorit und Magneteisen. Der Labrador pflegt theilweise oder ganz durch Nephelin vertreten zu sein. Accessorisch sind: Olivin, Hornblende, Apatit und Biotit.

2. Familie des Basalts. Grundmasse von grauschwarzer oder schwarzer Farbe und kryptokrySTALLINISCHER und lithoidischer Textur; sie bildet bald allein das ganze Gestein, bald umschliesst sie porphyrtig Krystalle oder krySTALLINISCHE

Körner von Olivin, Augit und Labradorit, wozu häufig noch Magneteisen, Biotit, Rubellan, Zirkon, Apatit u. s. w. treten.

3. Familie des Leucitophyrs. Die chemische Zusammensetzung scheint diese Gesteine der basaltischen Ordnung zuzuweisen.*)

Uebersicht der Classification.

Zur besseren Uebersicht der hier angewendeten Nomenclatur habe ich dieselbe mit derjenigen von J. ROTH, B. VON COTTA und C. F. NAUMANN **) in folgender Tabelle zusammengestellt:

*) In der hier versuchten Gliederung der vulkanischen Gesteine sind die Phonolithe nicht berücksichtigt worden. Ihre Stellung ist noch unbestimmt, besonders wegen der verschiedenartigen Weise, in welcher der Name angewendet worden ist. Besonders Trachyte sind häufig als Phonolith beschrieben worden. In Ungarn und der Sierra Nevada sind Phonolithe eine seltene Erscheinung. Sie scheinen geologisch den Basalten nahe zu stehen und werden wohl in eine Ordnung mit ihnen zu stellen sein.

**) Die zweite Auflage von NAUMANN's Lehrbuch ist mir leider nicht zugänglich.

| F. V. RICHTHOFEN Ordnungen. | Familien. (Gesteins-Analysen). | J. ROSE (Gesteins-Analysen). | B. V. COTTA (Gesteinslehre 2. Aufl.) | C. F. NAUMANN (Lehrb. d. Geol. 1. Aufl.) |
|--------------------------------|--|---|---|--|
| I. Rhyolithgesteine. | 1. Nevadit, 2. Liparit, 3. Eigendl. Rhyolith. | Liparit (Trachytoporphyr), Perlstein, Obsidian z. Th. | I. Rhyolithe. 1. Trachytoporphyr, 2. Perlit, 3. Obsidian z. Th. Bimsstein z. Th. | I. Familie des Trachyts. Trachytoporphyr, Perlit, Obsidian z. Th. Bimsstein z. Th. |
| II. Trachytgesteine. | 1. Sanidintrachyt, 2. Oligoklastrachyt. | Sanidintrachyt, Sanidin-Oligoklas-Trachyt, Amphibolandesit z. Th. | II. Trachyte. 1. Sanidintrachyt, 2. Sanidin-Oligoklas-Trachyt, 3. Oligoklas-Trachyt. | } Trachyt. |
| III. Propylitgesteine. | 1. Dacit, 2. Hornblende-Propylit, 3. Augit-Propylit. | Amphibolandesit z. Th. | (Timacit Trachytgrünstein } bei Diorit (Trachydolerit z. Th) | ? ? |
| IV. Andesitgesteine. | 1. Hornblende-Andesit, 2. Augit-Andesit. | Amphibolandesit z. Th. Pyroxen-Andesit. | 4. Andesit, 5. { Trachydolerit, Anamesit z. Th. | Andesit. Trachydolerit. Anamesit z. Th. |
| V. Basaltgesteine. | 1. Dolerit, 2. Basalt, 3. Leucitophyr. | Dolerit, Nephelindolerit, Basalt, Leucitophyr. | III. Basaltische Gesteine. Dolerit, Nephelindolerit, Anamesit z. Th., Basalt, Leucitfels. | II. Familie des Basalts. Dolerit, Nephelindolerit, Anamesit z. Th., Basalt, Leucitophyr. |

Wechselbeziehungen der fünf Ordnungen vulkanischer Gesteine.

Im Vorhergehenden habe ich versucht, die Gliederung der vulkanischen Gesteine nach natürlichen Principien in allgemeinen Umrissen darzustellen. Allein die philosophische Begründung des natürlichen Systems ergibt sich erst aus der Betrachtung der Wechselbeziehungen, welche die Gesteine der einzelnen Ordnungen einerseits unter einander bieten, und welche sie andererseits als Gesamtklasse gegenüber den älteren Eruptivgesteinen haben. Ich wende mich zunächst zu der ersteren der beiden Aufgaben. Es bieten sich verschiedene Gesichtspunkte, nach denen ihre Lösung versucht werden kann. Die wichtigeren unter ihnen sind: chemische und mineralische Zusammensetzung, geographische Verbreitung und die Gesamtheit jener Beziehungen, welche unter dem Ausdruck „geologisches Auftreten“ zusammengefasst werden mögen. Ich beschränke mich im Folgenden zunächst auf den letzteren Gesichtspunkt; aber selbst in dieser Beschränkung können die Wechselbeziehungen nur in ihren Grundzügen dargestellt werden.

1. Altersverhältnisse der Massenausbrüche.

Die Massenausbrüche der Gesteine der fünf beschriebenen Ordnungen haben in einer bestimmten Reihenfolge stattgefunden. Sie ist folgende:

- 1) Propylit,
- 2) Andesit,
- 3) Trachyt,
- 4) Rhyolith,
- 5) Basalt.

Diese eigenthümliche Reihenfolge, in welcher bei oberflächlicher Betrachtung keine Gesetzmässigkeit (zum Beispiel in Beziehung auf absteigenden Kieselsäuregehalt, Zunahme des specifischen Gewichts oder allmälige Aenderung der mineralischen Zusammensetzung) gefunden werden kann, möchte als das Spiel zufälliger, in einer Gegend zusammenwirkender Umstände erscheinen, und es liesse sich der Einwand erheben, dass viel zu wenige Beobachtungen über die Altersverhältnisse vulkanischer Gesteine vorliegen, um ein solches Gesetz allgemein auszusprechen. Allein, wo immer Beobachtungen dieser

Art gemacht worden sind, bestätigen sie das Gesetz, und es liegt bis jetzt keine Ausnahmserscheinung von Bedeutung vor. Es ist jedoch zu bemerken, dass die Reihenfolge der Ausbrüche nach diesem Gesetz nur relativ für jede einzelne Gegend gilt und selbstverständlich nur für die Gesteine, welche an jedem einzelnen Ort vertreten sind. Die Propylite mögen in Washoe die eruptive Thätigkeit erst eröffnet haben, als in einer anderen Gegend schon die Andesite zum Ausbruch gelangten. Noch eine andere Beschränkung ist zu erwähnen. Wie schroffe Uebergänge dem Geologen überhaupt ein beinahe unbekannter Begriff sind, so sind auch die Ausbruchszeiten der einzelnen Gesteinsordnungen nicht immer scharf gegen einander abgegrenzt. Die Propylite allein scheinen an vielen Orten den im Vorhergehenden zuweilen angewendeten Ausdruck „Selbstständigkeit der Eruptivperiode“ vollkommen zu rechtfertigen. Auch die Hauptphase der Massenausbrüche von Andesit scheint in den meisten Gegenden durch andere Gesteine nicht unterbrochen zu sein. Aber einzelne, gewissermaassen verspätete, Andesit-Ausbrüche fanden an manchen Orten noch im Anfang der Epoche des Trachytes statt, und ebenso reichten die Nachläufer der trachytischen Hauptausbrüche in die Rhyolithepoche hinein. Die grösste Selbstständigkeit nach den Propyliten scheint den Basalten eigenthümlich zu sein.

Ehe ich auf die Darstellung dieser Altersverhältnisse unter den vulkanischen Gesteinen der Sierra Nevada eingehe, sei es mir gestattet, einige früher von mir beschriebene Erscheinungen in den Karpathen noch einmal kurz zu erwähnen, wo ich bereits dieselbe Altersfolge (Grünsteintrachyte, graue Trachyte, Rhyolithe, Basalte) beobachtet hatte. Propylit durchsetzt dort Eocänschichten und bildet die Grundlage für nachfolgende vulkanische Gesteine. Die Gegend von Nagybánya, Felsöbánya und Kapnik ist reich an Belegen für dieses Verhältniss. Andesite überlagern den Propylit unmittelbar und bilden beinahe ausschliesslich das Material der drei grossen Gebirgszüge: Hargitta, Vihorlat-Gutin-Gebirge und Eperies-Kaschau-Gebirge, drei mächtige Ketten von ebenso grosser Einförmigkeit im landschaftlichen Charakter als Gleichartigkeit des Gesteins, aus dem ihre Hauptmassen bestehen. Nur an ihren Flanken, und vorzüglich an ihren Enden, zeigt sich grössere Abwechslung in beiderlei Beziehung. Diese Orte

waren der hauptsächlichste Schauplatz der trachytischen und rhyolithischen Ausbrüche. Trachyte sind nicht häufig, Rhyolithe aber sehr verbreitet. Sie finden sich besonders an jenen Abhängen, welche gegen das Miocän- Meer gerichtet waren, das damals die ungarische Ebene bedeckte und sich langsam zurückzog. Rhyolithische Gesteine bildeten Vorsprünge in dies Meer und Inselgruppen darin. Diese Plätze sind jetzt der Boden des ungarischen Weinbaus, und die Grenzen der Weinärten gegen die Buchenwälder der höheren Gebirge bezeichnen annähernd die Scheidelinie zwischen Rhyolith und Andesit. Der erstere sitzt dem letzteren schmarotzerhaft auf und bedeckt ihn oft auf weite Erstreckung. Besonderes Interesse gewähren runde Becken in den Flanken des Andesitgebirges, welche der Schauplatz vulkanischer Thätigkeit waren und in den massenhaft aufgeschichteten Laven den ganzen Reichthum hyaliner Abänderungen des Rhyoliths zeigen. Die Beweise, dass Trachyt und Rhyolith jünger sind als Andesit, sind häufig. Aber selten findet sich ein Beleg, dass Trachyt dem Rhyolith vorherging. Während die bisher genannten Gesteine gewöhnlich zusammen vorkommen und Gebirge aufbauen, die nach dem vorwaltenden Material als Andesitgebirge bezeichnet werden können, bildet der Basalt Berge und Gebirge für sich. Er ist gewöhnlich von jenen Gesteinen örtlich getrennt und scheinbar ohne Zusammenhang mit ihnen. Sein relatives Alter kann meist aus den mit den einzelnen Ausbrüchen gleichaltrigen Tuffablagerungen geschlossen werden, welche ihn als das jüngste vulkanische Gestein der Massenausbrüche bezeichnen.

Reich an Belegen für das Obwalten der gleichen Altersverhältnisse ist die Sierra Nevada mit den östlich und westlich angrenzenden Ländergebieten. In Washoe, an ihrem Ostabhang, tritt Propylit in einer grossen zusammenhängenden Eruptivmasse auf und bildet die Grundlage für alle späteren Ausbruchsgesteine. Das Auftreten des Cornstock-Ganges, zum Theil an der Grenze von Propylit und Syenit, zum Theil in Propylit allein, giebt dort diesem Gestein besonderes Interesse. Andesit ist hier ausnahmsweise sehr untergeordnet. Er bildet kleine kappenförmige Hügel auf dem Propylit-Plateau; und in Strasseneinschnitten und Wasserrissen kann man die schmalen Gänge sehen, durch welche er aufstieg. Zu ungewöhnlicher Bedeutung gelangt hier Sanidintrachyt. Er bildet ein schroffes,

vielgipfeliges Gebirge, das den Cornstock-Gang in einer halbkreisförmigen Mauer umzieht und sich weiter nördlich bedeutend ausbreitet, während sich im Süden erloschene Trachytvulkane anschliessen. Das Altersverhältniss zwischen Trachyt und Andesit lässt sich in Washoe nicht feststellen. Doch giebt es einen Beleg dafür, dass die Massenausbrüche des Trachyts dort durch lange Perioden von denen des Propylits getrennt waren. In beiden Epochen waren die zahlreichen Becken zwischen der Sierra Nevada und dem Felsengebirge von Salzwasser erfüllt, den Resten des Meeres, aus dem das ganze Plateau sich seit dem Ende der Jurazeit stetig emporgehoben hatte. Das Wasser in diesen Becken hat allmählig abgenommen, und zahlreiche Salzseen bilden jetzt seinen letzten Ueberrest. Da nun in Washoe die grösste Höhe, in welcher trachytische Sedimente auftreten, wenigstens 1000 Fuss unter derjenigen ist, bis zu welcher Propylit-Tuffe hinaufreichen, so scheint dies den Schluss zu rechtfertigen, dass das Wasserniveau zur Zeit der Ablagerung der ersteren um einen ähnlichen Betrag gefallen war, und die Periode zwischen beiderlei Ausbrüchen von langer Dauer gewesen ist. Aehnlich sind die Verhältnisse bei Silvermountain und an zahlreichen anderen Orten. Basalt tritt auch in dieser Gegend selten in Verbindung mit anderen vulkanischen Gesteinen auf. In solchen Fällen überlagert er sie stets. Doch ist er sehr verbreitet, wiewohl meist in Reihen isolirter Ausbrüche. Allenthalben zeigt er Spuren seines jugendlichen Alters. Er ist das einzige vulkanische Gestein, welches stellenweise den Sand der Wüstenbecken bedeckt, und seine Lagerstätten, besonders wo sie am Rand granitischer Gesteine sind, zeichnen sich durch warme Quellen, geiserartige Erscheinungen und andere Nachwehen vulkanischer Thätigkeit aus, die keinem anderen Gestein verbunden sind. Ich begegnete einem einzigen Beispiel des Zusammenvorkommens von Basalt und Rhyolith. Dies ist in Esmeralda, einer in Hinsicht auf vulkanische Gesteine besonders interessanten Gegend, die eines eingehenderen Studiums werth sein würde. Basalt hat dort nicht nur Rhyolith überflossen, sondern schliesst auch zahlreiche Bruchstücke desselben ein, so dass über sein jüngeres Alter kein Zweifel sein kann.

Es würde uns zu weit führen, die zahlreichen Belege für das angegebene Altersverhältniss, welche sich in den genann-

ten Ländern bieten, einzeln aufzuführen, da ihre Erwähnung manchmal nicht ohne ausführlichere geognostische Beschreibung der Lagerstätten geschehen könnte. Im weiteren Verlauf dieser Mittheilungen soll dies in Beziehung auf einzelne besonders lehrreiche Vorkommnisse geschehen. Aus demselben Grund muss ich hier auf die Aufzählung von Belegen aus anderen Gegenden, wie Mexico, Bolivia, Armenien, dem Kaukasus, Central-Frankreich u. s. w., verzichten. Geognostische Beobachtungen wurden in diesen Ländern nicht im Hinblick auf unsere gegenwärtige Aufgabe gemacht, die Natur der Gesteine lässt sich aus den Beschreibungen zuweilen nur unvollkommen herauserkennen, und es ist gewöhnlich kein Unterschied hinsichtlich der Ankunft der Gesteine an ihre Lagerstätte durch Massenausbrüche oder durch vulkanische Thätigkeit gemacht. Wo immer ausführliche und klare Beschreibungen vorliegen, lässt sich das angedeutete Altersverhältniss erkennen, wiewohl meist nur fragmentarisch. Besonders erscheint die Stellung des Propylits als Grundlage aller anderen vulkanischen Gesteine unzweifelhaft. Die Folge von Trachyt und Rhyolith auf Andesit, oder die Folge von Basalt auf Trachyt, und im Allgemeinen die Rolle des letzteren als des Schlussgliedes der Massenausbrüche sind in grösserer oder geringerer Klarheit und Vollständigkeit aus fast allen geognostischen Beschreibungen heraus zu erkennen, und es erscheint kaum möglich (was die Massenausbrüche betrifft), eine widersprechende Beobachtung zu entdecken. Diese Bestätigung der Beobachtungen, welche in zwei so weit entlegenen und so reich entwickelten tertiären Eruptionsgebieten, wie die Karpathen und die Sierra Nevada, eine eigenthümliche Uebereinstimmung bieten, rechtfertigt den Schluss, dass das angeführte Gesetz der Reihenfolge der Massenausbrüche vulkanischer Gesteine für den Erdball allgemein gültig ist.

2. Altersverhältnisse der vulkanischen Thätigkeit.

Die strengere Absonderung der Eruptionsepochen, welche durch die einzelnen Ordnungen der vulkanischen Gesteine bezeichnet sind, gilt, wie wir bemerkten, wesentlich für jene Ausbrüche, deren Ursprung nicht in vulkanischer Thätigkeit begründet ist, und welche wir als Massenausbrüche bezeichnen. Wir wenden im Folgenden die Benennungen: Propylitische,

Andesitische, Trachytische, Rhyolithische Epoche für diejenigen Epochen an, in welchen, in jeder einzelnen Gegend, die Massenausbrüche der gleichnamigen Gesteine stattgefunden haben. Wenden wir uns nun zur Betrachtung der vulkanischen Thätigkeit, so lässt sich leicht erkennen, dass das Gesetz für sie nicht in derselben Weise anwendbar ist. Dies zeigt die einfache Thatsache, dass die Laven der gegenwärtig in einer beschränkten Gegend zu gleicher Zeit thätigen Vulkane verschiedenen jener Gesteinsordnungen angehören. Andererseits aber ist es bekannt, dass jeder Vulkan gegenwärtig nur Laven und Asche einer einzigen Gesteinsordnung auswirft, und dass das Material der meisten, soweit es aus dem Bau der Kegelberge erkennbar ist, sich in Betreff des petrographischen Charakters niemals wesentlich geändert hat. Es giebt jedoch andere, besonders unter den bedeutenderen Vulkanen, deren Ausbruchsmassen einer periodischen Aenderung unterworfen gewesen sind. Allgemeine Belege dieser Thatsache sind seit längerer Zeit bekannt. Man hat gewöhnlich bei geognostischen Beschreibungen kurzweg „trachytische“ und „basaltische“ oder „feldspathige“ und „augitische“ Laven unterschieden, und an mehreren Orten die zeitliche Folge der letzteren auf die ersteren beobachtet. Vereinzelte Beispiele davon, welche in der Eifel, in den vulkanischen Gegenden Frankreichs, am Vesuv, am Aetna und in einigen anderen Gegenden beobachtet worden waren, sind in der That Alles gewesen, was man bis vor Kurzem in Betreff eines Gesetzes in der Aufeinanderfolge vulkanischer Gesteine wusste. Allein, abgesehen von dem angeführten allgemeinen Gesetz in Beziehung auf die Reihenfolge der Massenausbrüche, lässt sich auch bei den Vulkanen, wie es scheint, eine viel detaillirtere Ordnung nachweisen. Ich werde im Verlauf dieser Mittheilungen Gelegenheit nehmen, ein besonderes grossartiges Beispiel in dem erloschenen Vulkan Lassen's Peak in Californien zu beschreiben. Der Gesteinswechsel in solchen Fällen entspricht, mit grösserer oder minderer Vollständigkeit, dem in Beziehung auf die Reihenfolge der Massenausbrüche ausgesprochenen Gesetz. Ein Vulkan, zum Beispiel, der zuerst andesitische Laven auswarf, hat in einer späteren Epoche seiner Thätigkeit trachytische und in einer noch späteren rhyolithische Laven

und bei weiterer Fortdauer schliesslich basaltische Laven zu Tage gefördert.

Um das Gesetz des Zusammenhanges zwischen Massenausbrüchen und vulkanischer Thätigkeit klarer auszudrücken, unterscheiden wir: Andesitische, Trachytische, Rhyolithische und Basaltische Vulkane, je nach der Art des Gesteinsmaterials, das jeder Vulkan in der ersten Epoche seiner Thätigkeit ausgeworfen hat, ohne Rücksicht auf spätere Aenderungen desselben. Geht man nun in der Geschichte der Vulkane der einzelnen Ordnungen hinauf in frühere Zeit, so wird man für jede einzelne derselben in die Epoche der gleichartigen Massenausbrüche und, damit nahezu gleichzeitig, zu dem Anfang ihrer eigenen Thätigkeit hinaufgeführt. Kein Rhyolithvulkan war thätig vor der Rhyolith-Epoche der betreffenden Gegend, kein Basaltvulkan vor der Zeit der entsprechenden Massenausbrüche. Das Gesetz mag in folgender Weise ausgedrückt werden: Der Anfang der Thätigkeit der Vulkane jeder einzelnen Ordnung folgte unmittelbar auf die entsprechenden Massenausbrüche und fand innerhalb deren Epoche statt. Die Fortdauer der Thätigkeit durch jeden einzelnen Schlund hat sich in gewissen Fällen in dem periodischen Auswerfen gleichartigen Materials geäussert und sich allmählig abgeschwächt, entweder bis zu völligem Erlöschen, oder ihre letzten Phasen setzen jetzt noch fort. In anderen Fällen aber hat der Charakter der Laven periodisch nach dem angeführten Gesetz gewechselt. Auch dann ist entweder der Vulkan in einem bestimmten Stadium erloschen, oder seine Thätigkeit setzt noch fort, und die Art der Lava zeigt die Epoche an, in der er sich befindet. In Uebereinstimmung mit diesem Zusammenhang zwischen vulkanischer Thätigkeit und Massenausbrüchen steht die Thatsache, dass die meisten thätigen Vulkane basaltische (und doleritische) Gesteine auswerfen, eine kleinere Zahl rhyolithische und trachytische und nur einige wenige andesitische Laven. Fast alle andesitischen Vulkane sind jetzt in einem späteren Stadium, wenn sie überhaupt noch thätig sind, und es scheint, dass der Charakter andesitischer Laven sich nur bei einigen besonders grossartigen vulkanischen Schlünden bis zum heutigen Tage unverändert erhalten hat. Basaltvulkane scheinen, was den Charakter ihrer Laven betrifft, nie eine Aenderung erlitten zu haben.

Belege für den Zusammenhang der vulkanischen Thätigkeit mit den Massenausbrüchen sind häufig. Doch müssen wir sie hier übergehen, da sie nicht ohne ausführliche geognostische Beschreibungen gegeben werden können. Ich beschränke mich auf einige Beispiele in Betreff des Gesetzes im Wechsel der Laven einzelner Vulkane. Es liegt in dieser Beziehung Beobachtungsmaterial aus verschiedenen Gegenden vor, da von jeher die Ausbrüche der Vulkane mehr Interesse auf sich gezogen haben als die Massenausbrüche der analogen Gesteine. Wir begegnen bei Vulkanen häufig der Erscheinung, dass bei dem Uebergang zweier Epochen die Laven beider miteinander wechseln, und es kann uns bei der Natur der vulkanischen Thätigkeit nicht überraschen, zuweilen auf scheinbare Ausnahmsercheinungen zu stossen, bei denen die normale Ordnung wenigstens zeitweise umgekehrt ist.

Die Grundlage der Insel St. Paul im Indischen Ocean besteht nach HOCHSTETTER aus Rhyolith. Er wird von basaltischen Gängen durchsetzt. Rhyolith überlagert den ersten Basalt und wird von Dolerit, und dieser von Basalt bedeckt. Diese beiden basischen Gesteine setzen den Haupttheil der Insel zusammen und bilden ihren Krater. Aehnliche Verhältnisse, in grossartigerem Maassstabe und mit grösserem Reichthum der Gesteine, hat derselbe ausgezeichnete Beobachter auf Neu-Seeland gefunden, und sie sind seit langer Zeit von Island bekannt, wo jedoch die Ordnung verwickelter ist, da Rhyolith noch einmal dem Basalt folgt.

Die Laven des Vesuvs gehören zur basaltischen Ordnung; die Phlegräischen Felder, deren Gestein von höherem Alter ist, sind trachytisch. Doch scheinen auch dort sporadische Ausnahmen vorzukommen, da W. C. FUCHS in dem basaltischen Krater der Rocca Monfina einen kleinen Trachytkegel beobachtet hat. Der Grundbau des Aetna besteht nach SARTORIUS VON WALTERSHAUSEN aus weisslichen und röthlichen Trachytgesteinen, welche Hornblende als charakteristischen Gemengtheil enthalten, während die jetzigen Laven keine Hornblende, sondern nur Augit führen und entschiedenes Gestein der basaltischen Ordnung sind. Die klassischen Untersuchungen von Herrn v. DECHEN haben erwiesen, dass unter den Vulkanen der Eifel die Thätigkeit derjenigen, welche nur trachytische Laven ausgeworfen haben, früher begann als die Thätigkeit

derer mit Phonolith- und Basaltlaven. Unter letzteren wiederum sind die Basaltvulkane die jüngsten. Aehnlich sind die Verhältnisse in der Auvergne.

Wir könnten leicht noch zahlreiche Beispiele aus anderen Gegenden anführen. Allein da in den meisten Fällen nur der „trachytische“ oder „basaltische“ Charakter der Laven angeführt ist, so würden sie nur beitragen, das Bestehen eines Gesetzes der Reihenfolge im Allgemeinen zu erweisen, aber keinen Beleg für die hier angeführte Form desselben geben.

Noch ein anderer Gesichtspunkt bietet sich für die Betrachtung der Beziehungen zwischen vulkanischer Thätigkeit und Massenausbrüchen. Es ist das quantitative Verhältniss (wenn wir uns dieses Ausdrucks bedienen dürfen) zwischen der ersteren und dem Gesamtvolumen der der Beobachtung zugänglichen Gesteinsmassen der einzelnen Ordnungen. Es zeigt sich in dieser Beziehung, dass je jünger die Ordnung, desto mehr vulkanische Thätigkeit verhältnissmässig mit ihr verbunden gewesen ist. Nur die Basalte bilden in dieser Beziehung eine Ausnahme, da die relative Menge ihrer Vulkane hinter der Zahl der dem Rhyolith verbundenen zurücksteht. Die Grünsteintrachyte oder Propylite sind, wie erwähnt, dem Anschein nach ausschliesslich Producte von Massenausbrüchen. Die Andesite treten als solche in grosser Verbreitung auf. Ihre Vulkane aber, so gross ihre Zahl ist, sind doch im Verhältniss zu dem Volumen dieser Massen unbedeutend, selbst wenn man dem Umstand Rechnung trägt, dass andesitische Kratere, wegen ihres grösseren Alters, wahrscheinlich in höherem Grade der Zerstörung erlegen sind als solche, welche aus anderem Material aufgebaut waren. Bei den Trachyten wächst das Verhältniss der vulkanischen Thätigkeit. Stets untergeordnet als Massenausbrüche, sind sie doch häufig als Laven von Vulkanen ausgeworfen worden. Oestlich von der Sierra Nevada sind Trachytvulkane, wiewohl sämmtlich erloschen, besonders häufig; so am Red Rock Cannon südlich von Walker's Pass, in der Umgegend von Aurora, vorzüglich zwischen diesem Ort und Bodie, am Walker-Fluss, im Pine-nut-Gebirge südlich von Washoe, an den Rändern der grossen Einsenkungen des Tahoe-Sees und des Beckens von Sierra Valley am Kamme der Sierra Nevada und an zahlreichen anderen Orten. Rhyolithe scheinen in vielen Gegenden ausschliesslich, in anderen vorwaltend

durch vulkanische Thätigkeit an die Oberfläche gelangt zu sein. Oestlich von der Sierra Nevada sind an mehreren Orten ungewöhnliche Anhäufungen von Rhyolith, bei denen vulkanische Thätigkeit nicht mitgewirkt zu haben scheint. Die absolute Anzahl der Basaltvulkane ist zwar bedeutend grösser als die der Rhyolithvulkane, aber im Verhältniss zum Volumen der Massenausbrüche steht sie anscheinend weit zurück. Nur die Andesite wetteifern mit den Basalten hinsichtlich ihrer Verbreitung und Masse. Aber sie haben ungleich weniger Vulkane aufzuweisen als die Basalte. Oestlich von der Sierra Nevada spielen Basaltvulkane eine hervorragende Rolle. Der Pilot Peak, das Coso-Gebirge, die Gegend östlich von Aurora, ganz besonders aber die Thalbecken am Carson-Fluss und Humboldt-Fluss geben ausserordentlich schöne und lehrreiche Beispiele von kürzlich erloschenen Basaltvulkanen, deren letzte Thätigkeit sich bei einigen noch äussert, während im Argus-Gebirge, in Washoe, am Carson-Fluss, am Westabhang der Sierra Nevada und an zahlreichen anderen Orten Massenausbrüche stattgefunden haben.

3. Unterschiede der Geotektonik.

Wie in der eben betrachteten Beziehung, so verhalten sich die Gesteine der fünf Ordnungen auch in der Geotektonik verschieden. Die weit ausgebreiteten dünnen Decken und langgedehnten Ströme des Basalts und die Art seines Auftretens in zahllosen schmalen Gängen in älteren Formationen sind keinem anderen vulkanischen Gestein in annäherndem Maasse eigen und finden auch unter den älteren Ausbruchsgesteinen ihre einzige Wiederholung im Augitporphyr und Diabas. Man hat den deckenartigen Ausbreitungen in Californien und Nevada den Namen „Tafelberge“ (Table-mountains) beigelegt, den kein anderes Gestein mit dem Basalt theilt. Die Tafeln sind steil abgesetzt und zeigen gewöhnlich unvollkommen säulenförmige Structur. Seltener tritt der Basalt in runden Kuppen auf, und gewöhnlich sind ihre Abhänge treppenartig abgesetzt. Die Andesite bilden lange, einförmige Gebirgszüge mit flachen Gehängen und vereinzelt höheren Gipfeln von sanfter Böschung. Reibungsconglomerate begleiten den Andesit in solcher Massenhaftigkeit, dass sie zuweilen das von Einschlüssen freie Gestein an Volumen übertreffen. Die Propylite

zeigen sich selten in charakteristischen Formen, da sie gewöhnlich von anderen Gesteinen überlagert werden. Auch sie sind zuweilen von Breccien und Tuffen begleitet, die in wilden Schluchten mit steilen Wänden ausgewaschen sind; so besonders bei Silvermountain; auch bei Kapnik in Siebenbürgen und in Washoe. Ihr Auftreten ist dem Anschein nach centralisirt und nirgends von grosser Ausdehnung. Nie begegnete ich wieder den hohen, glockenförmigen Gestalten, welche die Propylitberge südlich von Rodna im nördlichen Siebenbürgen haben, wo sie über die Eocänhügel ansteigen und von keinem anderen vulkanischen Gestein unmittelbar begleitet sind. Die Trachyte bilden gewöhnlich einzelne Kuppen oder Bergzüge in Propylit- und Andesitgebirgen oder in geringer Entfernung von ihnen. Ihre Gebirge sind steiler und schroffer als die des Andesits und weichen in der Form weit von denen des Basalts ab. Am Südabhang der Karpathen sind die Trachytkegel mehrfach ihrer Gestalt und Lage wegen mit Schlössern gekrönt worden (z. B. Déva in Siebenbürgen und Regéczke nördlich von Kaschau). Die Art, in welcher Rhyolith auftritt, hatten wir im Vorhergehenden Gelegenheit zu bemerken.

Beziehungen der vulkanischen zu älteren Eruptivgesteinen.

Es ist unsere nächste Aufgabe, die Wechselbeziehungen auseinanderzusetzen, welche die tertiären und posttertiären mit den älteren Eruptivgesteinen theils verbinden, theils sie als Gesamtklasse von ihnen trennen. Ihre Erforschung erst lehrt den inneren Zusammenhang aller massigen krystallinischen Silicatgesteine kennen, der sie unabhängig von dem Ort ihres Vorkommens und der Zeit ihres Ausbruchs zu einem Ganzen vereinigt, und ohne ihre Kenntniss würde das natürliche System der vulkanischen Gesteine lückenhaft und unverständlich bleiben. Es bieten sich bei dieser Betrachtung im Wesentlichen dieselben Gesichtspunkte dar wie bei derjenigen der Wechselbeziehungen der vulkanischen Gesteine unter sich. Es ist hier nicht der Raum, auf ausführliche Erörterungen einzugehen, und ich beschränke mich auf kurze Bemerkungen in Betreff einiger hervorragender Gesichtspunkte.

1. Beziehungen der Systematik.

Die älteren Eruptivgesteine zerfallen, nach ähnlichen Principien wie wir im Vorhergehenden angewendet haben, in zwei natürliche Klassen: die granitischen und die porphyrischen Gesteine. Die ersteren haben vorwaltend granitische Textur und schliessen sich geologisch dem Granit an; bei dem letzteren herrscht porphyrische Textur, und Quarzporphyr ist der leitende Typus. Die Stellung der Ordnungen und Familien der vulkanischen Gesteine zu den Unterabtheilungen der beiden älteren Klassen ergibt sich aus nebenstehender Uebersicht.

Es scheint, dass die Eintheilung sämmtlicher Eruptivgesteine in diese drei grossen Klassen den Anforderungen natürlicher Systematik besser entspricht, als wenn man für die gesammte Reihe den Gehalt an Kieselsäure oder die mineralische Zusammensetzung als Eintheilungsgrund anwendet. Ein vollkommenes natürliches System der Eruptivgesteine ist bei ihren zahllosen Uebergangsstufen und den zufälligen Umständen, welche oft zu ihrer äusseren Ausbildung beitragen mussten, kaum jemals zu erwarten. Es ist hier den gegenseitigen Verhältnissen der chemischen und mineralischen Zusammensetzung, des specifischen Gewichts, der Textur, des Alters und des sonstigen geologischen Verhaltens so viel als möglich Rechnung getragen. Während aber nach den ersteren drei Gesichtspunkten sämmtliche Eruptivgesteine in eine grosse Klasse vereinigt werden müssten, bedingen die anderen die Eintheilung in drei Klassen, deren jede die vollständige Reihe der Gemenge von der „normaltrachytischen“ bis zur „normalpyroxenischen“ Zusammensetzung umfasst. In jeder aber ist die vorwaltende Form der äusseren Ausbildung dieser Gemenge verschieden, und jede enthält die Erstarrungsproducte eines relativ, nicht absolut verschiedenen Zeitalters. Der Unterschied mag demjenigen verglichen werden, welcher zwischen den drei Modificationen der Hornblende-Oligoklas-Gemenge unter den vulkanischen Gesteinen stattfindet.

Erste Klasse:**Granitische Gesteine.****Erste Ordnung: Granite.**

- Fam. 1. Granit.
- Fam. 2. Granitit.
- Fam. 3. Syenitgranit.

Zweite Ordnung: Syenite.

Einzige Familie: Syenit.

Dritte Ordnung: Diorite.

- Fam. 1. Diorit.
- Fam. 2. Mittelgesteine zwischen Diorit und Diabas.

Vierte Ordnung: Diabase.

- Fam. 1. Gabbro und Hypersthenit.
- Fam. 2. Diabas.

Zweite Klasse:**Porphyrische Gesteine.****Erste Ordnung: Felsitporphyre.**

- Fam. 1. Quarzführender Felsitporphyr.
- Fam. 2. Quarzfreier Felsitporphyr.

Zweite Ordnung: Porphyrite.

Einzige Familie: Porphyrit.

Dritte Ordnung: Melaphyre.

- Fam. 1. Melaphyr.
- Fam. 2. Mittelgesteine zwischen Melaphyr und Augitporphyr.

Vierte Ordnung: Augitporphyre.

Einzige Familie: Augitporphyr.

Dritte Klasse:**Vulkanische Gesteine.****Erste Ordnung: Rhyolithe.**

- Quarzführend: { Fam. 1. Nevadit.
Fam. 2. Liparit.
Fam. 3. Eigentlicher Rhyolith. }
- Quarzfrei: { }

Zweite Ordnung: Trachyte.

- Fam. 1. Sanidintrachyt.
- Fam. 2. Oligoklastrachyt.

Vierte Ordnung: Andesite.

- Fam. 1. Hornblende-Andesit.
- Fam. 2. Augit-Andesit.

Dritte Ordnung: Propylite.

- Fam. 1. Quarz-Propylit oder Dact.

Fam. 2. Hornblende-Propylit.**Fam. 3. Augit-Propylit.****Fünfte Ordnung: Basalte.**

- Fam. 1. Dolerit.
- Fam. 2. Basalt.

Die Eintheilung der Eruptivgesteine nur nach einem leitenden Gesichtspunkt ist in der That nicht mehr ausführbar, seitdem die Petrographie aus dem Bereich der beschreibenden Naturwissenschaften herausgetreten ist und von einer blossen Hilfswissenschaft sich zu einem integrirenden Theil der Geologie emporgeschwungen hat. Es ist jetzt kaum möglich, die Eigenschaften der Gesteine getrennt zu behandeln, ohne fortwährend zu den Wechselbeziehungen mit anderen Eigenschaften geführt zu werden, so innig sind sie mit einander verwebt und so unmittelbar von einander abhängig. Ich will im Folgenden versuchen, auf einige dieser Wechselbeziehungen hinzuweisen. Wir haben bei Betrachtungen dieser Art stets im Auge zu behalten, wie beschränkt das Feld der Beobachtungen ist, aus denen wir allgemeinere Schlüsse ziehen dürfen. Geognostische Forschung in verschiedenen Theilen der Erde erweitert es zwar täglich; aber doch begreift es noch immer einen kleinen Theil der Erdoberfläche. Besonders beruht die Kenntniss der Eruptivgesteine auf dem Studium einer geringen Anzahl ihrer Lagerstätten in einem Theil von Europa; darüber hinaus ist wenig Sicheres über sie bekannt. Wir haben deshalb in dem geologischen Theil der Lehre von den Eruptivgesteinen die positiven Schlussfolgerungen aus sicheren Beobachtungen in einer bestimmten Gegend von den Theorien zu trennen, welche auf Verallgemeinerung derselben beruhen, und nur zu oft durch Beobachtungen auf vorher unbekanntem Gebieten umgestossen oder verändert werden müssen.

2. Wechselbeziehungen von Alter und Textur.

Die Unterschiede, welche Gesteine von gleicher chemischer Zusammensetzung in Beziehung auf ihre Textur bieten, sind am augenfälligsten bei den kieselsäurereichsten Gemengen. Während im Granit die Erstarrung der freien Kieselsäure zuletzt unter allen Gemengtheilen vollendet worden zu sein scheint, giebt die Art des Vorkommens ihrer Krystalle im Quarzporphyr und Rhyolith einen Beleg, dass wenigstens ihr grösserer Theil zuerst ausgeschieden wurde. Die beiden letzteren Gesteine unterscheiden sich hauptsächlich durch die compacte Textur der Grundmasse im Quarzporphyr und ihre poröse Aufblähung oder hyaline Textur im Rhyolith. Diese unterscheidenden Merkmale weisen deutlich darauf hin, dass

nicht nur die Bedingungen, unter denen die Erstarrung erfolgte, sondern auch die Beschaffenheit der flüssigen Masse zur Zeit derselben in jedem der drei Fälle verschieden gewesen sind. Mit steigender Basicität der Gemenge nehmen die Texturverschiedenheiten ab. Der Grund der Erscheinung liegt wahrscheinlich weniger darin, dass die Molekularunterschiede der geschmolzenen Massen geringer waren, als darin, dass sie im Aussehen des Gesteins einen weniger erkennbaren Ausdruck fanden, da auch unter den gegenwärtigen Laven der Vulkane diejenigen des Basalts und Andesits ungleich weniger Abwechslung bieten als die des Rhyoliths. Es ist wohl diesem Umstand besonders zuzuschreiben, dass die Nomenclatur der basischen so viel unbestimmter ist als die der kieselsäurereichen. Der Name „Trapp“ ist beinahe für die Gesamtheit jener angewendet worden, und die unbestimmte Fassung solcher Namen wie Melaphyr, Aphanit, Anamesit, Grünstein ist nur in ihrem Bereich zu finden. Dennoch ist ein Unterschied insoweit vorhanden, als granitische Textur fast ausschliesslich unter denjenigen basischen Gesteinen vorkommt, welche dem Granit geologisch verbunden sind, und trachytische Textur allein unter denjenigen, welche der vulkanischen Klasse angehören. Das Vorkommen porphyrischer und einer mikrokrySTALLINISCHEN Textur ohne eingeschlossene Krystalle ist den basischen Gesteinen der drei Klassen gemeinsam.

Mit diesen Beschränkungen einer scharfen Abgrenzung stehen die Texturunterschiede in naher Beziehung zu den Altersverhältnissen der drei Gesteinsklassen. In Europa ist sie sehr einfach und zeigt nur örtlich beschränkte Abweichungen. Es ist bekannt, dass die weit verbreiteten granitischen Gesteine dieses Continents den azoischen und paläozoischen Zeiten angehören. Ihre Textur ist fast ausschliesslich granitisch, nur einige Diorite und Diabase haben porphyrisches Gefüge. Die eruptive Thätigkeit scheint allmählig abgenommen zu haben, und in der zweiten Hälfte der devonischen und im Anfang der Steinkohlen-Periode gering gewesen zu sein. Innerhalb der letzteren aber fing sie mit erneuter Heftigkeit an und nahm in der permischen Periode an Intensität zu, wiewohl sie in ihrer Verbreitung weit mehr beschränkt war als früher. Mitteldeutschland war einer ihrer hauptsächlichsten Schauplätze. In der Triasperiode war sie hier erloschen, fand aber einen neuen

Schauplatz am südlichen Abhang der Alpen und Karpathen. Porphyrische Textur ist das auszeichnende Merkmal der Gesteine dieser drei Perioden und ihnen beinahe allein eigenthümlich. Granitische Textur tritt noch in örtlicher Beschränkung auf, wie bei Predazzo und am Monzoni, trachytische Textur aber ist nie unter den porphyrischen Gesteinen Europas beobachtet worden. Die Zeitalter des Lias, des Jura, der Kreide und der Anfang der Tertiärperiode bezeichnen in Europa eine Zeit beinahe vollständiger Ruhe und unterbrechen die Phasen der heftigen eruptiven Thätigkeit. Die kleinen Ausbrüche an den Flanken der Alpen und Karpathen, in den Apenninen und in anderen Gegenden, welche dieser Zeit angehören, sind ausserordentlich unbedeutend, wenn man sie der Heftigkeit der eruptiven Thätigkeit in vorhergegangenen Perioden und in der nächstfolgenden Zeit vergleicht. Die Wiederaufnahme dieser Thätigkeit in und nach der zweiten Hälfte der Eocänperiode war ungemein intensiv und allgemein verbreitet. Nachher nahm sie allmähig ab, und sie hat ihre letzten Nachwehen in der Thätigkeit der jetzigen Vulkane. Trachytische Textur oder die poröse Aufblähung der Grundmasse ist den Gesteinen dieser Aera eigenthümlich, wiewohl ihr am meisten charakteristisches Merkmal in der Verbindung porphyrischer und trachytischer Textur besteht.

Die Verhältnisse sind in Europa deutlich genug ausgeprägt, um den Schluss zu rechtfertigen, dass die drei Gesteinsklassen auf diesem Continent die Producte der eruptiven Thätigkeit dreier getrennter Zeitalter sind. Die in anderen Gegenden beobachteten Thatsachen schienen früher in ihrer Gesamtheit eine Verallgemeinerung des Schlusses zu erlauben, da granitische Gesteine von hohem Alter zu sein, vulkanische Gesteine der Tertiärperiode anzuhören pflegen, während in Betreff der porphyrischen Gesteine sehr wenige Beobachtungen vorlagen, welche aber dem Schluss nicht zu widersprechen schienen. Die Verhältnisse in Californien jedoch weichen von den angeführten ab. Die glänzenden Untersuchungen von Professor J. D. WHITNEY über das Alter der metamorphischen Gesteine der Sierra Nevada haben festgestellt, dass die Granite, welche einen bedeutenden Antheil an der Zusammensetzung dieses Gebirges haben, nicht älter sein können als die Juraperiode. Trotz ihres jugendlichen Alters haben sie vollkommen granitisches Gefüge,

und vorwaltende Abänderungen sind von manchen Alpengraniten, zum Beispiel dem des Adamello, nicht zu unterscheiden. Die vulkanischen Gesteine der Sierra Nevada und angrenzender Gegenden sind, wie erwähnt, von gleichem oder ähnlichem Alter als diejenigen in Europa. Quarzporphyr tritt in ansehnlicher Verbreitung in Washoe auf. Sein Alter lässt sich nicht genau festsetzen, doch scheint aus seinen Lagerungsverhältnissen hervorzugehen, dass sein Ausbruch zwischen der granitischen und der vulkanischen Aera stattfand. Diese Altersverhältnisse der drei Gesteinsklassen sind anscheinend eine Wiederholung der in Europa beobachteten, mit dem Unterschied, dass alle Ausbrüche in eine kürzere Zeit zusammengedrängt sind und die beiden ersten in eine spätere Zeit fallen als in Europa. Einige kürzlich gemachte Beobachtungen jedoch geben eine Vervollständigung jener Thatsachen. Herr CLARENCE KING beobachtete am Colorado-Fluss Granite, welche von paläozoischen Formationen überlagert werden und älter als dieselben sind, während Prof. WHITNEY und ich das Vorkommen von Quarzporphyr im nördlichen Californien entdeckten unter Verhältnissen, welche kaum einen Zweifel über die Gleichzeitigkeit seiner Entstehung mit der Ablagerung von Trias- oder Lias-Schichten lassen. Ueber die weitere Verbreitung der Porphyre ist wenig bekannt. Die alten Granite aber sind im Osten der Sierra Nevada, in den Gebirgsketten der Hochfläche des Great Basin, verbreitet und sind eines der vorwaltenden Gesteine im Bau des Felsengebirges.

Es scheint sich durch diese Verhältnisse, trotz ihrer Abweichung von den in Europa beobachteten, die natürliche Trennung der beiden Klassen der granitischen und porphyrischen Gesteine zu rechtfertigen. Man darf schliessen, dass in den Anden von Nordamerika eine alte granitische Aera der europäischen entsprach, und dass eine ihr folgende porphyrische Aera mit der europäischen nahezu gleichzeitig war. Aber während die Ausbruchsthätigkeit in den nächsten Zeitaltern in Europa beinahe ruhte, begann sie an der Westküste von Nordamerika mit erneuter Heftigkeit und verursachte eine zweite granitische, gefolgt von einer zweiten porphyrischen Aera. Erst in der vulkanischen Aera war die Ausbruchsthätigkeit nahezu gleichartig und gleichzeitig auf beiden Continenten, und wahrscheinlich in allen Theilen der Erde, in denen sie sich äusserte.

3. Wechselbeziehungen zwischen Alter und Zusammensetzung.

Auch in Hinsicht auf diesen Gesichtspunkt bieten die drei Klassen von Eruptivgesteinen Unterschiede von hohem Interesse, welche mit der allmöglichen Entwicklung des Erdballs zusammenzuhängen scheinen. Quarzhaltige und im Allgemeinen kieselsäurereiche Gesteine walten unter denen der älteren Zeiten vor, basische unter denen der jüngeren. Granit und Syenit sind weitaus vorherrschend unter den Gesteinen der ersten Klasse. Diorit fehlt selten in ihrer Umgebung, ist aber an Masse stets untergeordnet, während Diabas zwar ein häufiger Begleiter ist, aber selbst hinter dem Diorit an Massenentwicklung zurückbleibt. Das Verhältniss ändert sich bei den porphyrischen Gesteinen. Allerdings ist über diese Klasse ausserhalb einiger europäischer Gegenden so wenig bekannt, dass Schlussfolgerungen in Beziehung auf sie mit Vorsicht anzuwenden sind. Im mittleren Deutschland und in Süd-Tyrol ist Quarzporphyr über die Gesteine jeder der anderen Ordnungen an Masse überwiegend. Allein die Gesamtmasse von Porphyrit, Melaphyr und Augitporphyr scheint nur wenig geringer zu sein als die des Quarzporphyrs. Basische Gemenge sind weit mehr vertreten als unter den granitischen Gesteinen. Ein vollständiger Gegensatz zu den letzteren aber bietet sich bei den vulkanischen Gesteinen. Das Massenverhältniss von Andesit und Basalt unter ihnen entspricht demjenigen von Granit und Syenit unter denen der ersten Klasse, während Rhyolith und Trachyt jenen in ähnlich untergeordnetem Verhältniss beigesellt sind wie Diabas und Diorit den Graniten.

Während daher jede der drei Klassen von Gesteinen die ganze Reihe der Gemenge von dem „normaltrachytischen“ bis zu dem „normalpyroxenischen“ enthält, ändert sich mit der Entwicklung des Erdganzen, soweit sie sich in jeder einzelnen Gegend in den durch die drei Klassen von Eruptivgesteinen bezeichneten Zeitaltern abspiegelt, das quantitative Verhältniss der einzelnen Gemenge in bemerkenswerthem Grade.

Einen dem vorhergehenden verwandten Gesichtspunkt bietet die Art der Aufeinanderfolge der in chemischer Hinsicht gleichwerthigen Ordnungen innerhalb der durch die drei Klassen bezeichneten Zeitalter. Granit scheint ausnahmslos die Ausbrüche

der granitischen Gesteine eröffnet zu haben, Diorite und Diabase erst spät gefolgt zu sein. Aber wiewohl in diesem allgemeinen Verhältniss eine allmälige Abnahme der Gemenge an Kieselsäure zu bemerken ist, gilt dies doch nur im Grossen und Ganzen. Eingehendere Beobachtung zeigt gerade bei den Gesteinen dieser Klasse das häufige Wiedererscheinen quarzhaltiger Gesteine nach den Ausbrüchen von quarzfreien, die Aufeinanderfolge wird verwickelt, und das Gesetzmässige der Erscheinung tritt nur noch in den allgemeinsten Zügen bei der Vergleichung verschiedener Granitgebiete hervor. Was die porphyrischen Gesteine betrifft, so scheinen theils Porphyrite und theils Quarzporphyre ihre Ausbrüche eröffnet zu haben. Beides ist der Fall in Mitteldeutschland, letzteres in Süd-Tyrol. Augitporphyre schlossen in dieser Gegend die eruptive Thätigkeit. Aber die Mittelgesteine, Porphyrit und Melaphyr, sind in ihren Eruptionsperioden weder unter einander, noch gegen jene beiden Gesteine scharf abgegrenzt. Quarzhaltige Porphyre überlagern Porphyrite, und bei Predazzo wird Augitporphyr noch von einzelnen Melaphyrgängen durchsetzt. Mehr bemerkenswerth aber als der Mangel einer scharfen Abgrenzung ist der Umstand, dass in Mitteldeutschland die Hauptmasse der Porphyrite den Melaphyren folgte, in ähnlicher Weise wie unter den vulkanischen Gesteinen Andesit dem Trachyt vorhergegangen ist. Im Allgemeinen scheint es, dass die Epochen des Hervorbrechens der einzelnen Ordnungen porphyrischer Gesteine schärfer hervortreten als bei denen der granitischen Reihe, dass das Gesetz der Kieselsäure-Abnahme auch für sie im Allgemeinen gilt, bei den Mittelgesteinen aber eine Umkehrung erfährt. Bei den Ordnungen der vulkanischen Gesteine endlich findet jene eigenthümliche Aufeinanderfolge statt, welche wir früher auseinandersetzen. Die einzelnen Epochen sind bei ihnen schärfer gegenseitig abgegrenzt als bei den Gesteinen der älteren Klassen, aber ihre Zeitfolge ist scheinbar ohne ein inneres Gesetz. Wir werden an einer anderen Stelle ausführlicher auf dieselbe eingehen.

4. Wechselbeziehungen der Eruptivgesteine in Hinsicht auf ihre geographische Verbreitung.

Dieser Gesichtspunkt ist einer der umfassendsten, von dem aus die geologischen Eigenthümlichkeiten der Eruptivgesteine

betrachtet werden können, zugleich aber einer der fruchtbarsten für das Verständniss ihres inneren Zusammenhanges und ihrer Beziehungen zu der allmäligen Entwicklung der Erdrinde. Um jedoch die Grundlage für endgültige Schlussfolgerungen in Betreff dieser Fragen zu legen, wäre eine sehr eingehende Erörterung des Gegenstandes nothwendig, und die Zusammenstellung der dazu nothwendigen Thatsachen, so unvollkommen sie bekannt sind, würde die Aufgabe eines besonderen Werkes bilden können. Wir beschränken uns hier nur auf einige kurze Bemerkungen in Betreff der allgemeinen Erscheinungen, welche sich 1) in Hinsicht auf die Art der Verbreitung der Gesteine jeder der drei Klassen und 2) in Hinsicht auf den Zusammenhang dieser verschiedenen Verbreitungsformen erkennen lassen.

Granitische Gesteine sind weit auf der Erde verbreitet. Fast allenthalben, wo alte Sedimente in stark gestörter Lagerung vorkommen, greift Granit in ihren Verband ein. Das hohe Alter, das er in der Regel besitzt, der hohe Grad der Zerstörung sowie der Bedeckung durch Sedimente, dem er durch die langen nachfolgenden Perioden ausgesetzt gewesen ist, machen es wahrscheinlich, dass das Gesamtvolumen aller an dem Bau der Erdoberfläche theilnehmenden porphyrischen und vulkanischen Gesteine verschwindend klein ist gegen das des Granits. Beschränken wir die Betrachtung auf den europäischen Continent, so finden wir Granit am Aufbau fast eines jeden Gebirges in mehr oder weniger ausgedehntem Grade theilnehmen. Doch sind seine Lagerstätten centralisirt und von einander abgesondert, selten haben sie eine grössere Erstreckung. In den Alpen zum Beispiel ist bekanntlich Granit eine verbreitete Gebirgsart. Aber er tritt in einzelnen getrennten Stöcken auf, die bald Gipfelmassen für sich bilden, bald in untergeordneter Weise in den Verband der krystallinischen Schiefer eingreifen. So weit die Forschungen sich bis jetzt erstrecken, haben sie eine Individualität dieser Alpengranite erwiesen, wie sie bei keinem anderen Eruptivgestein bekannt ist. Die einzelnen Massive sind von verschiedenem Alter und zeigen entsprechende Unterschiede im Gesteinscharakter. Benachbarte Stöcke verhalten sich zuweilen in beiden Beziehungen gleich, aber andere, die ihnen zunächst gelegen sind, weichen von ihnen ab. Die Länge der geologischen Zeit, in welche die Entstehung der verschiedenen Alpengranite fällt, ist nicht be-

kannt, umfasst aber jedenfalls eine Reihe von geologischen Perioden. Eine ähnliche Individualität in Beziehung auf Alter und Gesteinscharakter ist den Graniten anderer europäischer Gebirge eigen, und es giebt sich klar zu erkennen, dass während der langen Dauer der granitischen Aera eine Anzahl kleiner Eruptionsgebiete über Europa zerstreut waren, deren Entstehung und Ausbruchsthätigkeit sehr verschiedenen Zeitabschnitten angehörten. Anders stellen sich die Verhältnisse in der porphyrischen Aera dar. Es lassen sich in ihr ausgedehnte und bestimmt begrenzte Regionen eruptiver Thätigkeit unterscheiden, deren jede eine Anzahl von Granitgebieten umfasste. Sie sind von anderen Regionen von noch grösserer Ausdehnung geschieden, in denen auch Granite verbreitet waren, aber keine Ausbruchsthätigkeit in der porphyrischen Aera stattfand. Innerhalb der porphyrischen Regionen waren die Erscheinungen des Vulcanismus sehr intensiv; jede derselben aber hatte ihre eigene Ausbruchsperiode. Diese Eigenthümlichkeiten treten in Deutschland besonders klar hervor. Die porphyrische Region von Mitteldeutschland, die sich von den Sudeten bis zu den Vogesen erstreckt, gehört wesentlich den Perioden der Steinkohlen und des Rothliegenden an, diejenige am Südrand der Alpen und Karpathen ist triassisch. Beide enthalten eine reichgegliederte Reihe von Gesteinen. Ein Unterschied zwischen ihnen giebt sich kund durch das Ueberhandnehmen basischer Gemenge, insbesondere das massenhafte Auftreten von Augitporphyr am Südrand der Alpen, während von diesen Gesteinen nur Melaphyr nebst einigen schwach augithaltigen Uebergangsstufen im Augitporphyr in Mitteldeutschland beobachtet worden sind.

Einen vollständigen Gegensatz zu der Individualität der Granite bieten die vulkanischen Gesteine in Hinsicht auf Zeit und Raum, wie auf Gesteinscharakter. In Hinsicht auf die Zeit der Ausbrüche kann man in der vulkanischen Aera ganz Europa, ja den ganzen Erdball, als eine Region eruptiver Thätigkeit betrachten. Denn ihr Anfang war allenthalben nahezu gleichzeitig, und in ihrer Fortdauer lassen sich in jeder Gegend Epochen der Culmination unterscheiden, welche zwar keineswegs gleichzeitig waren, aber überall gleichartig auf einander folgten und sich in den verschiedensten Gegenden durch Gleichheit des ausgeworfenen Gesteinsmaterials auszeichneten.

Was aber die räumliche Verbreitung betrifft, so ist sie bei den vulkanischen weit beschränkter als bei den granitischen Gesteinen. Während die letzteren in allen Ländern des europäischen Continents scheinbar regellos vertheilt sind, verbreiten sich die vulkanischen Gesteine über ausgedehnte Zonen, welche an Umfang die porphyrischen Regionen weit übertreffen. So lassen sich zum Beispiel vulkanische Gesteine mit geringen Unterbrechungen von Armenien bis zum Rhein verfolgen. Die Ausbruchsthätigkeit war jedoch nicht gleichmässig in dieser ganzen Zone, sondern culminirte in gewissen Gegenden. Verschiedene Züge scheinen sich zuweilen zu berühren und zu verbinden; besonders häufig aber begegnet man Ausläufern von den Hauptzügen entlang bestehenden Gebirgen.

Wenden wir uns zu den Wechselbeziehungen, welche sich darbieten, wenn man die Art der Verbreitung, welche den verschiedenen Klassen von Eruptivgesteinen in jeder einzelnen Gegend eigenthümlich ist, vergleichend betrachtet, so liegt darüber nur wenig Beobachtungsmaterial vor. Es sei mir gestattet, hier noch einmal auf eine Erscheinung am Südrand der Alpen und Karpathen hinzuweisen, welche ich bei einer anderen Gelegenheit beschrieben habe.*) Verfolgt man den Verlauf der südlichen Grenzlinie der krystallinischen Schiefergesteine in den Alpen, so ist er in der Lombardei geradlinig von Westen nach Osten bis an das Südende des Lago Maggiore. Hier wendet sich die Linie scharf nach Nordosten, um nach einem Verlauf von 3 Meilen wieder in eine der früheren parallele Richtung umzuwenden. So verfolgt man sie an dem Granitmassiv des Adamello vorbei. Dann wiederholt sich derselbe doppelte Richtungswechsel in grösserem Maassstab. Dann wieder nimmt jene Grenzlinie plötzlich einen nordnordöstlichen Verlauf, den sie in beinahe vollkommener gerader Richtung für eine Erstreckung von 10 Meilen beibehält, um dann ebenso unvermittelt wieder in die westöstliche Richtung umzuschlagen. Bis zur Ostgrenze von Tyrol bleibt die letztere scharf markirt, dann wird sie undeutlich. Eine dritte Wiederholung des doppelten Richtungswechsels, von grossartigeren Dimensionen als die beiden vorhergehenden, aber wegen der Bedeckung durch

*) RICHTHOFEN, Geognostische Beschreibung der Umgegend von Predazzo etc. in Süd-Tyrol. Gotha, JUSTUS PERTHES, 1860. Einleitung.

jüngere Formationen weniger deutlich erkennbar, beginnt an dem steilen Abbruch der Alpen bei Wien und setzt in den Karpathen fort. Es wurden dadurch drei deutliche einspringende Winkel gebildet. Der erste umfasst die Gegend von Lugano. Er ist der kleinste. Der zweite ist von bedeutenderen Dimensionen und umfasst die Gegend von Predazzo und Fassa im südöstlichen Tyrol. Der dritte umfasst das nordwestliche Ungarn. Diese drei Gegenden waren von den ältesten bis in die jüngsten Zeiten die Haupt-Schauplätze eruptiver Thätigkeit in den Alpen und West-Karpathen und sind als klassische Gegenden für die Kenntniss der Ausbruchsgesteine bekannt. Die geologischen Beziehungen waren jedoch verschieden in verschiedenen Zeiten. Wenig innerer Verband scheint zwischen den Granitmassen zu existiren, welche jene einspringenden Winkel theils umgeben, theils in ihnen auftreten. Sie sind vereinzelt und individualisirt, ebenso unabhängig von einander in Beziehung auf die geologische Zeit ihres Ausbruchs, als in Betreff ihrer petrographischen Entwicklung. So viel jedoch tritt deutlich hervor, dass die genannten drei Gegenden zu den hauptsächlichsten Verbreitungsgebieten des Granits in den Alpen und Karpathen gehören. In der petrographischen Aera bildete zwar der Südrand der Alpen und Karpathen, in Beziehung auf Gleichzeitigkeit der Erscheinungen und Gleichartigkeit der Gesteine, ein einziges grosses Eruptionsgebiet, allein die Ausbrüche waren fast allein auf jene drei einspringenden Winkel beschränkt, wo sie mit grosser Heftigkeit stattfanden. Und obwohl in der vulkanischen Aera die Alpen und West-Karpathen wohl nur einen Theil einer weit umfangreicheren Zone eruptiver Thätigkeit bildeten, war doch die letztere besonders heftig in einzelnen Gegenden, und zu diesen gehören innerhalb jener beiden Gebirge vorzüglich die Umgebungen jener Orte, an welchen in der Triasperiode die porphyrischen Ausbrüche am heftigsten gewesen waren.

So gross die Unterbrechungen zwischen den drei durch die Ausbrüche der drei Klassen von Eruptivgesteinen charakterisirten Zeiträumen gewesen sind, ist es doch augenscheinlich, dass die drei einspringenden Winkel von der paläozoischen bis zur tertiären Zeit als ein Schauplatz eruptiver Thätigkeit gedient haben. Diese örtliche Verkettung der Gesteine weist auf eine genetische Verbindung des Ausbruchsmaterials

der verschiedenen Zeitalter. Wenden wir uns zu anderen Theilen der Erde, so ist es eine allgemeine Erfahrung, dass grosse Anhäufungen vulkanischer Gesteine besonders in der unmittelbaren Nachbarschaft von Granit vorkommen, vorausgesetzt, dass die Verhältnisse gestatten das Vorhandensein des letzteren zu beobachten. Granit ist weit verbreitet in Gegenden, wo vulkanische Gesteine nicht vorkommen. Aber diese scheinen innerhalb der vulkanischen Zonen besonders dort aufzutreten, wo Granit ihnen vorher den Weg gebahnt hatte.

(Fortsetzung folgt.)



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 Sedi- mentärgesteinen 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 allmählig 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. Granitite 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 Dünnsflüssigkeit 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 gewagteste 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 Thatsachen 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 hochoberhobenen 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 Krateren 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 Rheinthale 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 lehrreicherer 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 Goldreichthum.

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 wiedereingetretene Ruhe zu bezeichnen, während in den Alpen, wo diese Eruptionen in die Triasperiode hineinfließen, 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 übertrifften 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 diejenigen, 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 ausgezeichnete 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 Eruptiv- gesteinen : | 713 |
| 1. Beziehungen der Systematik | 714 |
| 2. Wechselbeziehungen von Alter und Textur | 716 |
| 3. Wechselbeziehungen zwischen Alter und Zusammen- setzung | 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 vulkani- schen Gesteine und der Eruptivgesteine im Allgemeinen | 36 |
| Beziehungen der Verbreitung vulkanischer Gesteine zur Gestalt der Oberfläche der Erde | 50 |