

# Spalten und Vulcane.

Von Dr. Ferdinand Löwl.

Unsere Vulcantheorien greifen zu derselben Krücke, an der in früheren Jahren die Lehre von der Thalbildung einherhinkte. Solange man die Arbeitskraft des Wassers verkannte, waren die Thäler klaffende Spalten; seit das Schlagwort von der Passivität der Eruptivgesteine durch den allgemeinen Gebrauch die Weihe eines Glaubenssatzes erhielt, können Laven und Dämpfe nur dort ausbrechen, wo ihnen Verwerfungen die Wege bahnten. Doch die Herstellung solcher Wege ist nicht die einzige Function der grossen Bruchspalten. Die Theorie muthet ihnen im Ganzen drei Leistungen zu. Sie sollen erstens Wasser zu den vulcanischen Herden hinableiten, zweitens im Augenblicke ihres Entstehens das unter dem Drucke der Erdrinde verfestigte Magma örtlich entlasten, verflüssigen und ausbruchfähig machen, drittens endlich dem glutflüssigen Gesteinsbrei den Durchbruch durch die Erstarrungskruste unseres Planeten ermöglichen. Man scheut sich nicht einmal, in einem bestimmten Falle einer und derselben Spalte mehrere dieser Verrichtungen aufzubürden. So behauptet Verbeek, dass der Krakatäo-Bruch, dessen Vorhandensein noch gar nicht sichergestellt ist, im Jahre 1880 durch eine von Erdbeben begleitete Störung wieder aufgerissen wurde, von 1880 bis 1883 das Seewasser in die Tiefe dringen liess und zum Schlusse für die gespannten Dämpfe und die emporgepressten Laven die Dienste eines Ventils versah. <sup>1)</sup>

Die klastische Infiltration des Oberflächenwassers, die Annahme von Wassersäulen oder spaltenfüllenden Wassergängen, die in magmatische Teufen hinabsteigen <sup>2)</sup>, verträgt sich nicht mit dem heutigen Stande der Geophysik. Erstens dürfte die Temperatur in jener Tiefenstufe den kritischen Punkt des Wassers weit übersteigen, und zweitens

<sup>1)</sup> Johnston-Lavis bemerkt dazu: If this were so, it certainly seems a strange thing, that no less than three years should be necessary to heat the water before the explosion took place. Nature. XXXIII. 6. — In Verbeek's erstem Berichte war nur von einer Krakatäospalte die Rede, in dem Hauptwerke aber werden bereits drei Bruchlinien vorausgesetzt, deren Schnittpunkt mit der Ausbruchstelle der Insel Krakatäo zusammenfallen soll. Vergl. Nature, XXX. 10 und XXXII. 601.

<sup>2)</sup> Reyer: Beitrag zur Physik der Eruptionen und der Eruptivgesteine, pag. 37. u. folg.

ist die Voraussetzung tiefgreifender, klaffender Spalten unvereinbar mit einer der wichtigsten und auch gesichertesten Errungenschaften der Erdkunde, mit der Lehre von dem batholithischen Gebirgsdrucke und der latenten Plasticität der von ihm betroffenen Gesteine. Wer diese Theorie in dem Mechanismus der Gebirgsbildung gelten lässt — und das thun heutzutage wohl die meisten Geologen — der darf sich ihrer auch in der Erklärung anderer Phänomene nicht entschlagen.

Der Gesichtspunkt, den Gilbert bereits im Jahre 1875 in den Henry Mountains aus der Beobachtung bruchlos aufgetriebener lakolithischer Schichtenkuppeln gewann, wurde durch die grundlegenden Untersuchungen Heim's gegen jeden Einwurf gesichert.<sup>1)</sup> Heim gab dem Resultate, zu dem er auf verschiedenen Wegen gelangte, die allbekannte Fassung: „In einer gewissen Tiefe unter der Erdoberfläche sind die Gesteine weit über ihre Festigkeit hinaus belastet. Dieser Druck pflanzt sich in allen Richtungen fort, so dass ein allgemeiner dem hydrostatischen Drucke entsprechender Gebirgsdruck allseitig auf die Gesteintheilchen einwirkt. Dadurch sind dort die sprödesten Gesteine in einen latent plastischen Zustand versetzt. Tritt eine Gleichgewichtsstörung durch eine neue Kraft hinzu, so geht die mechanische Umformung in dieser Tiefe ohne Bruch, in zu geringen Tiefen bei den spröderen Materialien mit Bruch vor sich.“

Nach dieser wohl begründeten Theorie kann es in der Zone der latenten Plasticität gar keine klaffenden Risse geben. Alle Verwerfungen, welche die in der Erdkruste eintretenden Spannungsdifferenzen zu lösen haben, müssen in jener Tiefenstufe, wo jede Gleichgewichtsstörung durch eine bruchlose molekulare Umlagerung aufgehoben wird, in Flexuren übergehen.<sup>2)</sup> Obzwar klaffende Risse sich auch in höheren Horizonten bald wieder schliessen oder durch Secrete vernarben, wird man doch nicht in Abrede stellen, dass sich das Wasser in ihnen seine Wege offen hält. Ein tieferes Eindringen aber — sei es auf klastischen, sei es auf capillaren Wegen — ist nach dem Gesagten schlechterdings undenkbar. Heim zieht nur eine unvermeidliche Konsequenz aus seiner Theorie, wenn er behauptet: „Dass der Gebirgsdruck in solche Tiefen, wo Lavahitze herrscht, kein Wasser mehr eindringen lässt, dass schon in viel geringeren Tiefen alle Spalten und überhaupt alle Wasserwege geschlossen und verquetscht sein müssen, ist nach unseren Erörterungen selbstverständlich. Es ist undenkbar, dass Wasser in Tiefen über 5000 Meter unter das durchschnittliche Niveau der Oberfläche eindringe. Die vulcanischen Herde sind vom Meerwasser abgeschnitten.“<sup>3)</sup>

Auch die zweite Function der Spalten, die Entlastung des durch den Druck verfestigten Magmas, ist mit Heim's Theorie nicht in Einklang zu bringen. Wenn sich die Brüche in einer Tiefe von 2 bis 5 Kilometer unter dem Einflusse der latenten Plasticität in Kniefalten umsetzen, können sie den Druck, der das Magma gefesselt halten soll,

<sup>1)</sup> Gilbert: *Geology of the Henry Mountains*, pag. 75. Heim: *Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung*. II. 1. Abschnitt. Vergl. auch *Zeitschrift der deutschen Geol. Ges.* 1880. 262.

<sup>2)</sup> Heim hat solche Uebergänge sogar beobachtet — allerdings nur in kleinen Verhältnissen, a. a. O. 198.

<sup>3)</sup> a. a. O. 110.

nicht vermindern. Da die Hypothese einer Entlastung des Erdinnern durch den Spaltenwurf in der heutigen Vulcanlehre eine sehr wichtige Rolle spielt, wollen wir ihr an der Hand Reyer's, der sie am klarsten entwickelte, näher treten.<sup>1)</sup> Reyer sagt: Das Magma besteht aus Stoffen, welche durch den Druck im Erstarren gefördert werden. Da nun die Wärmezunahme gegen das Erdinnere langsamer erfolgt als die Druckzunahme, dürfen wir annehmen, dass sich die Hauptmasse des Magmas in einer gewissen Tiefe verfestigt und dass auch die Liquida, mit denen der Gesteinsbrei durchtränkt ist, einen hohen Grad von Zähigkeit erreichen. Der Erdkörper ist also thatsächlich starr. Potenciell aber ist er in sehr geringer Tiefe schon magmatisch. Um das verfestigte, starre Magma in den flüssigen Zustand zurückzuführen und so ausbruchfähig zu machen, ist nichts weiter nöthig als eine Druckverminderung. Diese Druckverminderung kann nur durch die Brüche und Spalten der Erdrinde bewirkt werden. In dem Augenblicke, da eine Spannungsdifferenz in der Erstarrungskruste ausgeglichen wird durch einen Berstungsriß, der bis zum Magma hinabreicht, kann sich dieses in Folge der plötzlichen Entlastung wiederum ausdehnen und verflüssigen. Es hat das natürliche Bestreben gegen den Ort des geringsten Druckes in der Spalte emporzudringen und bietet so auch dem tiefer liegenden Magma Raum zum Aufdunsen, Verflüssigen und Nachrücken. — Die Entlastung und Auflockerung muss nun immer weiter um sich greifen und zum Schlusse ein förmliches Auslaufen des Erdkerns herbeiführen. So kann die kleinste tektonische Störung den Anstoss geben zu einer Weltkatastrophe.

Das wäre das Ziel, welches Reyer's Deduction erreichen müsste, wenn sie nicht unterwegs, bei dem oben eingeschalteten Gedankenstriche, entgleiste. Man stösst an dieser Stelle wider Erwarten auf den Satz: „Ob die Lava injicirt oder ejicirt wird, die Endfolge ist neuerliches Erstarren des Magmas in der Tiefe, denn die emporgedrungenen Massen drücken auf die tiefer liegenden erweichten Theile, und dieser Druck stellt jene Starrheit wieder her, welche vor dem Risse geherrscht hat; so setzt die Injection oder Eruption der anfänglichen Erweichung Grenzen und gestattet nicht, dass die Verflüssigung mehr als eine locale Bedeutung gewinne.“<sup>2)</sup> An diesem beschwichtigenden Schlusse ist mancherlei auszusetzen. Erstens bietet eine Spalte, wenn sie an einer oder an mehreren Stellen durch den aufquellenden Gesteinsbrei verstopft ist, in ihrer Längenerstreckung noch zahllose andere Auswege, und zweitens müssen die Liquida des entlasteten Magmas sich so gewaltsam ausdehnen, dass sie die einmal aufgesprengten Vulcanschlote nicht nur offen halten, sondern auch erweitern können. Es ist daher nicht einzusehen, wie die Auflockerung und das Emporquellen des magmatischen Erdkerns zum Stillstande zu bringen wäre. Diese Schwierigkeit scheint sich auch Reyer aufgedrängt zu haben, denn er bemüht sich an einer andern Stelle seines Buches, sie durch eine längere Auseinandersetzung zu bannen.<sup>3)</sup> „Jeder Ausbruch“, heisst es da, „würde durch Zeiträume fortdauern, von denen wir uns keine Vorstellung machen können, wenn dessen äussere und innere Bedingungen

<sup>1)</sup> Beitrag zur Physik der Eruptionen, pag. 119—125.

<sup>2)</sup> a. a. O. 124.

<sup>3)</sup> a. a. O. 105.

ungeändert blieben. Unter dieser Voraussetzung könnte erst Ruhe eintreten, wenn das Erdinnere so weit von Gasen befreit wäre, dass der herrschende Druck genügt, die Gasspannung in jedem Theile des Ganges zu hemmen.“ — Ein werthvolles Zugeständniss, das der früher angeführten Behauptung geradezu widerspricht.

Was für Bedingungen sind es nun, die sich ändern müssen, wenn ein Feuerberg zur Ruhe kommen soll? Reyer glaubt das Versiegen der vulcanischen Ergüsse aus der schlierigen Beschaffenheit der gefördertten Laven erklären zu dürfen. Reichlich mit Wasser imprägnirte und basische Schmelzflüsse zeichnen sich bekanntlich durch eine grosse Beweglichkeit aus. Kommt nun nach solchen dünnflüssigen Laven eine wenig durchtränkte oder eine saure Schliere zur Förderung, so kann es geschehen, dass der Schlot durch den zähen Teig verstopft wird und der Vulcan zeitweilig oder für immer erlischt. — Die Möglichkeit eines solchen Vorganges soll nicht geläugnet werden. Man vergegenwärtige sich nur den Trachytbuckel Monte della Croce in dem basaltischen Ringgebirge der Rocca Monfina oder die schöne, glockenförmige Trachyt-kuppe Puy de Sarcoui zwischen den Schlackenkegeln Puy la Goutte und Petit Puy Sarcoui. In diesen und ähnlichen Fällen wurde die vulcanische Thätigkeit wirklich durch das Aufsteigen saurer Schlieren unterdrückt. Doch die Erfahrung lehrt, dass das Ende einer Eruption in der Regel nicht durch die Verstopfung des Schlotes, sondern nur in Folge einer sichtlichen Erschöpfung der vulcanischen Kraft eintritt. Uebrigens wäre die Lehre von der Entlastung des Magmas durch Bruchspalten auch dann nicht zu retten, wenn sich in allen Fällen nachweisen liess, dass die Vulcane durch die Förderung zäher Laven zum Schweigen gebracht werden. Setzt man mit Reyer und anderen Geologen voraus, das Erdinnere werde durch die Verwerfungen und Risse der Erstarrungskruste in den flüssigen und magmatischen Zustand zurückgeführt, dann muss man auch zugeben, dass nichts im Stande ist, der weiteren Auflockerung und dem fortgesetzten Ausströmen des Magmas Einhalt zu thun. Die erörterte Hypothese widerspricht also nicht nur der Lehre Heim's von der latenten Plasticität der tieferen Zonen der Erdrinde, sondern auch den Erscheinungen, welche die thätigen Vulcane dem Beobachter darbieten. Für ihre Vertreter bleibt der rasche Abschluss, den die meisten Ausbrüche finden, ein unlösbares Räthsel.

Auf dieselben Schwierigkeiten stösst jene eklektische Theorie, welche Reusch auf Grund älterer Anschauungen Herschel's, Hunt's, Mallet's und Anderer entwickelte.<sup>1)</sup> Die Felsarten der Erdkruste haben nach Reusch's Ansicht einen ähnlichen Kreislauf durchzumachen, wie das atmosphärische Wasser. Jede Schichtenreihe, die unter jüngeren Ablagerungen begraben wird, kann durch den gebirgbildenden Seitenschub und unter dem Einflusse des Regionalmetamorphismus in eine magmatische Schliere umgewandelt werden, welche durch die während oder nach der Faltung entstandenen Risse zur Förderung gelangt. Es liegt auf der Hand, dass sich diese Auffassung mit Heim's Theorie und mit den Ergebnissen einer unbefangenen Beobachtung ebenso wenig in Einklang bringen lässt, wie die ihr nahe verwandte Hypothese

<sup>1)</sup> Ueber Vulcanismus, pag. 30.

Reyer's. Beiläufig sei noch bemerkt, dass auch Fisher's Versuch, die Entlastung des Magmas auf den Abstau der zusammengeschobenen und gefalteten Rindentheile zurückzuführen, an der Lehre von dem allgemeinen Gebirgsdrucke scheitert. In den tieferen Zonen der Erdkruste können weder senkrechte Spalten noch wagrechte Hohlräume aufgesprengt werden.<sup>1)</sup>

Die dritte Aufgabe der grossen Brüche und Verwerfungen ist das Erschliessen von Auswegen für das „passive“ Magma. Soweit die einzelnen Vulcantheorien sonst auseinandergehen, in diesem Punkte treffen sie einträchtig zusammen. Die Gründe dieser auffallenden Uebereinstimmung liefern zwei Thatsachen, deren Erklärung dem Anscheine nach nur durch die Annahme einer Spalteninjection ermöglicht wird: Die geographische Verbreitung der Vulcane lehrt, dass die Ausbruchstellen an gebrochene, zerstückte, verworfene Schollen der Erdkruste gebunden sind und dass sie mit Vorliebe in Reihen auftreten, deren Verlauf an das Streichen von Bruchlinien erinnert. — Nachdem Buch's Hebungstheorie durch die exacten Forschungen Scrope's, Prevost's, Junghuhn's und Anderer gefällt und die ältere Auffassung Dolomieu's und Spallanzani's wieder in ihre Rechte eingesetzt worden war, mussten die beiden Erfahrungssätze, die sich aus der räumlichen Vertheilung der Vulcane ergeben, der Reaction gegen die Annahme einer gebirg- oder auch nur bergbildenden Wirksamkeit der Eruptionen kräftig Vorschub leisten. Es konnte gar nicht ausbleiben, dass die Sieger in diesem ungleichen Kampfe durch ihren Eifer in das entgegengesetzte Extrem getrieben wurden. Wenn die ausströmenden Dämpfe und Laven keinerlei Störungen in den durchbrochenen Schichtenreihen hervorrufen, wenn die Mündungen der vulcanischen Schlote überdies in Reihen geordnet und an Bruchregionen gebunden sind, dann empfiehlt sich allerdings Prevost's Annahme, dass das eruptive Magma „nur die vorhandenen Lösungen der Continuität der Erdrinde benützt, um hervorzutreten und sich auszubreiten.“ Dieser Satz hat etwas so Verlockendes, dass ihm selbst Heim rückhaltlos zustimmt, und zwar in demselben Werke, in welchem er der Voraussetzung tiefgreifender Spalten jeden Anspruch auf weitere Duldung entzieht.<sup>2)</sup>

Prüfen wir nun die einzelnen Erscheinungen, in denen sich das passive Verhalten des Magmas äussern soll. Dass die Vulcane vorzugsweise auf solchen Schollen der Erdrinde sitzen, welche von Bruchlinien durchzogen sind, wird heutzutage wohl Niemand mehr in Abrede stellen. An den niedergebrochenen Rändern pelagischer Becken, auf der abgesunkenen Innenseite mancher Faltengebirge und auch in zerstückten und verworfenen Tafellandschaften herrscht zwischen dem Gebirgsbaue und den Eruptionen ein gesetzmässiges Verhältniss, mit dem sich jede Vulcantheorie abfinden muss. Doch über dieses Zugeständniss darf man ohne zwingende Gründe nicht hinausgehen. Ist eine Bruchregion der Schauplatz vulcanischer Ausbrüche, so folgt daraus noch nicht, dass diese Ausbrüche an die einzelnen Bruchlinien gebunden sind. Die

<sup>1)</sup> Fisher: *On the Elevation of Mountain Chains, with a Speculation on the Cause of Volcanic Action.* Geol. Mag. V. 493.

<sup>2)</sup> a. a. O. 124, 125.

effusiven Basaltdecken Nordböhmens lasten auf dem abgesunkenen Südflügel des Erzgebirges. Zieht man aus dieser unbestreitbaren Thatsache, wie ich selbst vor einigen Jahren that, ohne weiteres den Schluss, dass die eruptiven Massen aus den Spalten der verworfenen Scholle emporquollen, so zeigt man eben nur, dass man unter der Herrschaft eines Vorurtheiles steht. Um das Verhältniss zwischen Spalten und Eruptionen zu ergründen, muss man zunächst die räumlichen Beziehungen derselben mit der grössten Genauigkeit feststellen. Das lässt sich aber nur in Regionen durchführen, deren Gebirgsbau nicht etwa in sporadischen Entblössungen sondern auf weite Strecken hin vollkommen aufgeschlossen ist. Als ein solches Gebiet stellt sich das Coloradoplateau dar, und hier wurde denn auch in der That ein durchschlagender Erfolg erzielt. Wie ich bei einer früheren Gelegenheit erwähnte <sup>1)</sup>, konnte Dutton nachweisen, dass die Schlote der Kraterberge, welche über das Uinkaret-Plateau ausgestreut sind, die zusammenhängende Schichtentafel selbst durchbrechen und den grossen Spalten derselben fernbleiben. <sup>2)</sup> An einer Stelle der linken Thalwand des Grand Cañon, gegenüber der Mündung des Torowcap-Grabens, ist ein Profil aufgeschlossen, welches wohl auf der ganzen Erde nicht seines Gleichen findet. Hier thront 1000 Meter über dem Flusse, hart am Rande der „Esplanade“ — jener breiten Seitenterrasse, welche in die Wände des Grossen Cañon eingeschnitten ist — ein basaltischer Schlackenkegel, dessen lavaerfüllter Schlot an dem Absturze der wagrecht übereinander liegenden Plateauschichten bis zum Colorado River hinab zu verfolgen ist. <sup>3)</sup> Da der Basaltgang nicht mit einem Bruche zusammenfällt, sondern die ungestörten Sedimente auf vielfach gebrochenem Wege durchschneidet, muss die Lava an dieser Stelle ebenso wie im Uinkaret-Plateau gewaltsam emporgedrungen sein. Suess behauptet ohne Rücksicht auf die Angaben seines und unseres Gewährsmannes, dass „die Basalte in engen, im Cañon oft auf grosse Höhen blossgelegten Spalten aufgestiegen sind und, ohne an den Wänden zu erkalten, hoch oben ihre Aschenkegel aufgeschüttet und ihre Laven ergossen haben.“ <sup>4)</sup> Man ersieht aus diesem Zugeständnisse an die Theorie, dass in dem Kampfe gegen ein tief eingewurzelt Vorurtheil mitunter auch die glaubwürdigsten Beobachtungen unterliegen. Es muss daher, je sorgsamer man dem Zeugnisse Dutton's aus dem Wege geht, mit desto grösserem Nachdrucke immer und immer wieder hervorgehoben werden, dass die im Coloradoplateau gesammelten Erfahrungen die Unabhängigkeit der Vulcane von den Spalten erweisen.

Das „reihenförmige“ Auftreten der Eruptionskegel und der älteren Massenergüsse ist dem von Dutton gefundenen Beweismaterial nicht gleichwerthig. Es kann die Spalteninjection im günstigsten Falle nur wahrscheinlich machen. Dieser günstige Fall ist an zwei Voraussetzungen gebunden, um die man sich bisher wenig kümmerte. Wenn das Magma durch Spalten emporstiege, dann müssten seine Anhäufungen

<sup>1)</sup> Die Granitkerne des Kaiserwaldes.

<sup>2)</sup> Dutton: Tertiary History of the Grand Cañon District. 105.

<sup>3)</sup> Dutton a. a. O. 95, 96.

<sup>4)</sup> Suess: Das Antlitz der Erde. I. 740.

auf der Erdoberfläche erstens dicht geschaart sein und zweitens in ihrem Streichen den Zug der Bruchlinien getreu widerspiegeln. Einige Massenergüsse, z. B. die langen Trachytzüge auf der Innenseite der Karpathen, scheinen diesen Anforderungen zu entsprechen. Gewissheit ist nicht zu erreichen, da die Lage der Ausbruchstellen durch die eruptiven Massen selbst verdeckt wird. Man muss demnach die Topographie der Kraterberge zu Rathe ziehen. Auf diesem Gebiete aber kann Jeder selbständige Untersuchungen anstellen. Wer irgend eine unserer „Vulcanreihen“ auf einer Karte, und wäre es auch nur auf einer Uebersichtskarte, prüft, dem werden sofort die grossen Abstände zwischen den einzelnen Eruptionskegeln auffallen. Ist er ein Anhänger der Spaltentheorie, so wird er sich zu der Annahme bequemen müssen, dass ein meilenweit fortstreichender Bruch von dem gluthflüssigen Gesteinsbrei nicht wie bei den Massenergüssen in seiner gesammten Längenerstreckung, sondern nur an einigen, weit von einander entfernten Stellen als „Ausweg“ benützt wurde.

Eine noch grössere Verlegenheit erwächst der Theorie aus dem gebrochenen, zickzackartigen Verlaufe der „Vulcanreihen“ und aus ihrem Anschwellen zu breiten Zonen und Gürteln. Man hilft sich hier in der Regel mit der Interpolation einer beliebigen Anzahl peripherischer und transversaler Brüche. Jeder abseits stehende Krater erhält seine eigene Spalte. Doch wer je den Versuch anstellte, für irgend eine Vulcanregion, etwa für die Ausbruchstellen Javas oder für die Vulcanreihe von Mexico, ein Spaltennetz zu construiren, der dürfte sehr bald den Eindruck gewonnen haben, dass er sich mit einem Geduldspiele beschäftige. Eine Hypothese, die, um ihr Dasein weiter zu fristen, zu solchen Mitteln greift, gibt sich selbst auf. Die Vulcanspalten sind gerade so imaginär, wie jene Thalspalten, die sich nicht aus dem Gebirgsbaue, sondern nur aus den Oberflächenformen erschliessen lassen.

Damit soll das Vorhandensein wahrer Lavagänge, wahrer Dykes, keineswegs geleugnet werden. Es wäre ja auch nicht einzusehen, warum das Magma, wenn es während des Durchbruches durch die Erdkruste in den höheren Schichtenreihen auf Brüche stösst, diesen Brüchen nicht folgen und in ihnen nicht gangförmig erstarren sollte. Ob dabei klaffende Risse oder nur Flächen gelockerten Zusammenhaltes, gleich den Schichtfugen, in's Spiel kommen, bleibt ohne Belang. In beiden Fällen muss die Kraft, welche die Laven emportreibt, im Vereine mit den ausstrahlenden Gasen die Hauptarbeit leisten.

Die Spaltentheorie hat den Sachverhalt umgestülpt. Sie lässt das Magma durch die Risse der Erstarrungskruste so ruhig wie etwa das Quecksilber in dem Glasrohre eines Barometers emporsteigen. Dass diese Ansicht nicht allein der Lehre von dem batholithischen Gebirgsdrucke, sondern auch orologischen und geographischen Erfahrungen widerspricht, wurde bereits dargethan; wir haben also nur noch die Frage aufzuwerfen, ob sie in den Erscheinungen, welche einen vulcanischen Ausbruch zu begleiten pflegen, eine Stütze findet.

Oeffnet sich irgenwo ein neuer Schlund oder nimmt ein alter Vulcan nach längerer Ruhe seine Thätigkeit wieder auf, so wird die Eruption durch heftige Erdstösse angekündigt, deren Schüttergebiet im Gegensatze zu dem Bereiche der grossen tektonischen Beben eng umgrenzt

ist. Die drohende Sprache dieser Vorboten wurde bisher immer verstanden — auch von Jenen, die sich am Schreibtische in die Lehre von der Passivität der Eruptionen eingesponnen haben. Aus den Berichten und aus den lebhaften Schilderungen aller Augenzeugen geht deutlich hervor, dass die Wucht der Sinneseindrücke auch das hartnäckigste Vorurtheil überwindet und jeden Zweifel an dem gewaltsamen Empordringen, an dem Durchbruche des Magmas unterdrückt. Eine Ueberrumpelung des Urtheils durch die Schrecken erregenden Aeusserungen der vulcanischen Kraft wäre durch eine nachträgliche sorgsame Prüfung der beobachteten Vorgänge und der bleibenden Wirkungen leicht unschädlich zu machen. Doch gerade eine solche Prüfung pflegt die Richtigkeit des ersten Eindruckes zu bestätigen. Wenn man in den Auswürfen einiger Eifelvulcane nicht allein Bruchstücke des anstehenden Grundgebirges, sondern auch einzelne Brocken eines batholithischen Granits antrifft; wenn der graue, trachytische Tuff, welcher die Grundlage des Mte. Somma bildet, förmlich gespickt ist mit silicatreichen Trümmern und Blöcken von Apenninkalk, so spricht das jedenfalls entschieden für die Annahme, dass die Laven nicht ruhig in vorhandenen Spalten emporsteigen, sondern sich ihre eigenen Wege aussprengen. Besonders lehrreich ist das zweite Beispiel. Die Kalkblöcke des Vesuv, welche durch das glühende und mit Lösungen getränkte Magma zum Theil in Marmor umgewandelt und mit den schönsten Silicaten imprägnirt wurden, sind auf die ältesten Auswürfe des Vulcans beschränkt. Sie kommen nur in dem Trachyttuffe an der Basis des Mte. Somma vor. Wir dürfen daraus schliessen, dass der Schlot, den die ersten Eruptionen in dem Kalkgebirge gewaltsam aufsprengten, seither nie völlig verstopft und verschlossen war. Nur die heftigsten, nach langen Ruhepausen eingetretenen Ausbrüche, z. B. der vom Jahre 79, förderten unter basaltischen Schlacken und Aschen auch zahlreiche kleine Kalkfragmente zu Tage. Offenbar musste in solchen Fällen der durch den Gebirgsdruck verquetschte Eruptionscanal neuerdings geöffnet oder doch erweitert werden. In den jüngsten Auswürfen des Vesuv sind Kalkbrocken grosse Seltenheiten.<sup>1)</sup>

Wo die Erosion den inneren Bau der Vulcane oder gar deren Untergrund aufgeschlossen hat, mehren sich die Beweise für die Activität des Magmas. Die Erscheinungen, welche hier in Betracht kommen, sind allgemein bekannt. Wer sie in seinen Speculationen ausser Acht lässt, der will eben nicht sehen, der glaubt ein Hirngespinnst dadurch retten zu können, dass er beide Augen zudrückt. Unregelmässig verzweigte Apophysen, Gänge, welche die Schichtenreihen nicht als blattförmige Gesteinskörper, sondern auf gebrochenen Wegen durchschneiden oder wohl gar streckenweise als Lagergänge den Schichtfugen nachgehen<sup>2)</sup>; intrusive Stiele und Stöcke von elliptischem oder auch kreisrundem Querschnitte, deren Aufsteigen im Sinne der Theorie keine

<sup>1)</sup> G. vom Rath, *Der Vesuv*, 23. — Auswürfe losgerissener Fragmente des Untergrundes lassen sich in den meisten Vulcanregionen nachweisen. Ein ungewöhnliches Mass scheinen sie nach dem Berichte Baron's am Itasysee im centralen Madagascar zu erreichen. *Nature*, XXXIII, 415 u. folg.

<sup>2)</sup> Vergl. Dutton a. a. O. 96, Fig. 2; Gilbert a. a. O. 28—30, Fig. 19—23.

gewöhnlichen Spalten, sondern förmliche Schächte erfordert hätte — alle diese Formen der durchgreifenden Lagerung widersprechen der Annahme einer klastischen Injection des Magmas so entschieden, dass man schwer begreift, wie sich diese naturwidrige Hypothese so lange zu halten vermochte. Den Gnadenstoss gab ihr wohl die Entdeckung jener gesellig auftretenden Trachytkerne des Coloradoplateaus, welche den Verband der ungestörten Schichtenreihen durch radiale Intrusion sprengten und die hangenden Gesteinsbänke zu Kuppeln und Gewölben auftrieben.<sup>1)</sup>

Halten wir nun Umschau unter den Thatsachen, denen jede Vulcantheorie Rechnung tragen muss.

1. Die geographische Verbreitung der Vulcane gibt uns nur zwei Regeln an die Hand, welche an zahlreichen Ausnahmen leiden und erst durch eine tiefere, geologische Begründung Werth erhalten: Die Vulcane suchen die Nähe des Meeres und treten vorzugsweise in langen Streifen und Gürteln auf.

2. Aus dem Gebirgsbaue der Vulcanregionen lässt sich der Erfahrungssatz ableiten, dass die Eruptionen an solche Schollen der Erdrinde gebunden sind, die entweder selbst eine Verwerfung erleiden oder an Senkungsfelder grenzen. Als Typus der ersten Art kann die Grabenverwerfung des Rothen Meeres, der mediterrane Einbruch oder die Innenseite der Karpathen gelten, während der Scheitel des Erzgebirges mit seinen zahlreichen Basalkuppen, das im Streichen der Sierras jäh abgebrochene Hochland von Anahuac, insbesondere aber die Anden Südamerikas der zweiten Art angehören. Wie diese drei Beispiele lehren, kann ein Horst gleichzeitig mit der an ihm verworfenen Scholle vom Magma durchbrochen werden. Man vergleiche die Galapagos-Inseln mit den Vulkanen von Ecuador, die Kraterberge am Fusse des mexicanischen Hochlandes mit denen, die dem Hochlande selbst aufgesetzt sind, die Basaltdecken des Egerthales mit den gleichalterigen Ergüssen auf der Höhe des Erzgebirges.

3. Die Formen der durchgreifenden Lagerung und der intrusiven Einschaltung lassen auf gewaltsame Durchbrüche schliessen. Mit der Annahme einer Spalteninjection vertragen sich nur die regelmässigen, blattförmigen Lavagänge.

4. Die vulcanischen Erscheinungen und die Beschaffenheit der zu Tage geförderten Stoffe weisen auf eine mehr oder minder reichliche Durchtränkung des Magmas mit Wasser — genauer: mit gesättigten Lösungen — hin. Der Grad der Durchtränkung bedingt im Vereine mit dem chemischen Bestande nicht nur die Art des Ausbruches — Erguss oder Zerstäubung — sondern auch die Beweglichkeit und die Erstarrungsformen der Lava. Ausser Wasserdampf werden noch andere Gase und Dämpfe entbunden, welche nur aus dem Erdinnern stammen können und diesem offenbar seit der Ballung unseres Planeten angehörten.

---

<sup>1)</sup> Einen zusammenfassenden Bericht über die Arbeiten Gilbert's, Holmes', Peale's und Anderer findet man in meiner Abhandlung über die Granitkerne des Kaiserwaldes. Dort wurden auch die theoretischen Schlüsse, die man aus dem eigenartigen Baue der Lakkolithe zu ziehen hat, nach Gebühr gewürdigt.

5. Die Erdbeben, welche den Eruptionen voranzugehen pflegen, und die ausgeworfenen Trümmer des Grundgebirges widersprechen der Voraussetzung, dass der gluthflüssige und mit Wasser durchtränkte Gesteinsbrei im Schlotte ruhig emporquelle.

6. Die Geophysik entwindet den Vulcantheorien die Annahme tiefgreifender Spalten und auch die Annahme unterirdischer, durch den gebirgbildenden Seitenschub aufgesprengter Hohlräume. Eine klastische oder capillare Wasserzufuhr, eine Entlastung und Verflüssigung batholithischer Schlieren, ein Anzapfen des Magmas durch klaffende Risse ist daher ausgeschlossen.

Ueber den Zustand des Erdinnern lässt uns die Geophysik heute noch im Unklaren. Glücklicher Weise fordern die vulcanischen Erscheinungen nur ein Zugeständniss, zu dem sich jede Hypothese herbeilassen kann, ohne mit sich selbst in Widerspruch zu gerathen. Ob man die Resultate, welche H. Darwin aus den indischen und englischen Pegelbeobachtungen gewann, für durchaus gesichert hält und der Erde eine grössere Starrheit zuschreibt als einer Stahlkugel von derselben Grösse, ob man sich den Erdkern im Sinne der älteren Auffassung gluthflüssig oder in Uebereinstimmung mit Ritter und Zöppritz als einen bis zur Starrheit comprimierten Gaskörper vorstellt, der gegen die oberflächliche Erstarrungskruste hin, der Temperaturabnahme entsprechend, schlierenweise in den flüssigen Zustand übergeht — der Vulcanismus widerspricht keiner dieser Ansichten. Er setzt nichts weiter voraus, als eine magmatische Kugelschale zwischen dem Erdkerne und der Erdrinde oder zum Mindesten einzelne magmatische Schlieren. Welche Mächtigkeit diese Zone erreicht und in welcher Tiefe sie beginnt, entzieht sich der Rechnung und Schätzung.

Unter den oben zusammengestellten Thatsachen scheinen sich zwei — die Häufung der Vulcane in der Nähe des Meeres und die Absperrung der Wasserzufuhr durch den Gebirgsdruck — gegenseitig auszuschliessen. Doch der Widerspruch, der zwischen ihnen herrscht, lässt sich ohne Zwang lösen, wenn man die aus der räumlichen Vertheilung der Vulcane gewonnene empirische Regel nicht auf das Meer als solches, sondern auf jene tektonischen Störungen bezieht, welche an der Grenze zwischen den Festländern und den pelagischen Becken so häufig zu beobachten sind. Für die Richtigkeit dieser Auffassung bürgt erstens die vulcanische Immunität flacher, ungestörter Continentalränder und zweitens die grosse Entfernung zahlreicher Vulcangruppen von der Meeresküste. Unter den Feuerbergen der Neuen Welt treten die von Centralamerika am nächsten an die Strandlinie heran, und doch ist ihr mittlerer Abstand vom Stillen Ocean noch immer grösser als die Entfernung des Milleschauer von Dresden oder Prag. Der Lassen's Peak in der Sierra Nevada, der Popocatepetl und seine Nachbarn, der Tolima, Antisana, Sangay, die Vulcane von Bolivia und Atacama sind von der Küste ebenso weit und zum Theile noch weiter entfernt als die Kraterberge der Eifel von der Nordsee oder die der Auvergne vom Golfe du Lion. Der Abstand zwischen den vor Kurzem erloschenen Vulcanen des Colorado-Plateaus und dem Stillen Ocean ist um 60 Kilometer grösser als der zwischen dem Egerländer Kammerbühl und der Nordsee.

V u l c a n e	Entfernung vom Meere in Kilometern
Gunung Semeru (Java) . . . . .	25
Fusi-no-jama . . . . .	28
Vulcanreihe von Guatemala . . . . .	50
Gunung Korintji (Sumatra) . . . . .	55
Demawend . . . . .	60
Gunung Lawu (Java) . . . . .	64
Gunung Tudju (Sumatra) . . . . .	70
Irazu . . . . .	70
Vultur . . . . .	75
Ararat vom Goktscha-See . . . . .	90
Ararat vom Wan-See . . . . .	100
Vulcane von Arequipa . . . . .	100
Pic von Orizaba . . . . .	105
Aconcagua . . . . .	140
Ilinissa . . . . .	150
Chimborazo . . . . .	150
M. Shasta . . . . .	150
Sahama . . . . .	160
Tolima . . . . .	190
M. Hood . . . . .	190
Cotopaxi . . . . .	200
Antisana . . . . .	210
Lassen's Peak . . . . .	210
Llullaico im O. der Salina de Punta Negra . . . . .	220
Popocatepetl . . . . .	240
Kraterberge der Auvergne . . . . .	260
Vulcane im O. der Salina de Atacama . . . . .	270
Kraterberge um den Laacher See . . . . .	280
Krater des Uinkaret-Plateaus in Arizona . . . . .	520

Ich brauche wohl kaum zu bemerken, dass in dieser Zusammenstellung neben den thätigen Vulkanen nur solche erloschene angeführt wurden, deren Ausbrüche unter denselben Verhältnissen stattfanden, die noch gegenwärtig an Ort und Stelle herrschen. Die meerentlegenen Schlackenkegel des Colorado-Plateaus sind nach Dutton nur wenige Jahrzehnte alt. Seit ihrer Aufschüttung kann die Strandlinie keine erhebliche Verschiebung erlitten haben. Da nun trotz der ungeheueren Entfernung vom Ocean und von den Binnenseen des Great Basin eine Zerstäubung der Laven stattfand, müssen wir im Sinne Angelot's annehmen, dass der hierzu erforderliche Wasserdampf dem Erdinnern selbst entstammte.

Tschermak hält die Menge von Gasen und Dämpfen, welche durch die fortschreitende Erstarrung des Magmas frei werden, für hinreichend, um 20.000 Vulcanschlote in ununterbrochener Thätigkeit zu erhalten.<sup>1)</sup> Wem die Rechnung, die zu diesem Ergebnisse führt, kein Vertrauen einflösst, der kann mit Prestwich einen guten Theil des entweichenden Wasserdampfes auf das im Bereiche der Vulcane angesammelte Grundwasser zurückführen.<sup>2)</sup> Das Versiegen der Brunnen,

<sup>1)</sup> Tschermak: Ueber den Vulcanismus als kosmische Erscheinung. Sitz-Ber. der Wiener Akademie. Bd. 75, I. Abth., pag. 174 u. folg.

<sup>2)</sup> Prestwich: On the Agency of Water in Volcanic Eruptions, with some Observations on the Thickness of the Earth Crust, and on the Primary Cause of Volcanic Action. Nature, XXXI, 592.

welches den Eruptionen voranzugehen pflegt, beweist jedenfalls, dass die Vulcane durch das empordringende Magma gleichsam ausgesogen werden, dass das Grundwasser aus den entfernteren Theilen capillar gegen den Schlot vordringt, um hier nach und nach zu verdampfen und zu verpuffen. Prestwich geht jedoch viel zu weit, wenn er das Grundwasser als die ausschliessliche Quelle des entweichenden Dampfes ansieht. Die Lösungen, mit denen der magmatische Schmelzfluss getränkt ist, können nur aus der Tiefe stammen. Eine Vermengung des kalten Grundwassers mit der glühenden Lava ist undenkbar, weil sich das erstere absondern und in Dampf verwandeln muss.

Wir stehen nun vor der Frage, ob die Ausscheidung der Gase aus dem erstarrenden Erdkerne oder aus einzelnen erstarrenden Flüssigkeitsschlieren als die letzte Ursache der vulcanischen Erscheinungen gelten darf, ob die Eruptionen wirklich nichts Anderes sind als Spratzvorgänge. Wer diese Frage bejaht, sieht sich zur Annahme eines tief greifenden Spaltenwurfes gezwungen.<sup>1)</sup> Dass die ausgeschiedenen Gase eine genügende Tension besitzen, um die Erdkruste gewaltsam zu durchbrechen, behauptet heutzutage wohl Niemand mehr. Für unseren Planeten „sind die Zeiten des Spratzens für immer vorbei.“<sup>2)</sup> Das Ausstossen von Dämpfen und Gasen ist ein secundärer Vorgang, der sich erst in den höheren Theilen der Vulcanschlote abspielt und bei zahlreichen Eruptionen ganz vermisst wird. Der Erguss mancher Lavafelder, z. B. der ausgedehnten Basaltdecken im Gebiete des Snake River, ging ohne Dampfentwicklung vor sich.<sup>3)</sup>

Die Beschränkung der Vulcane auf Bruchregionen, sowie die reihen- oder streifenförmige Anordnung der eruptiven Bildungen sprechen dafür, dass man die Kraft, welche einzelne magmatische Schlieren ausquetscht und durch die Erdrinde emporreibt, in dem örtlich gesteigerten Drucke der Erstarrungskruste zu suchen hat. Wodurch die Druckunterschiede, die jedenfalls sehr gross sind, hervorgerufen werden, ist ein Problem der Geophysik, das noch der Lösung harrt.

<sup>1)</sup> Vergl. Tschermak a. a. O. 159 u. 162.

<sup>2)</sup> Reyer a. a. O. 59.

<sup>3)</sup> Arch. Geikie, Geolog. Sketches. 278.