

Über den inneren Bau der Vulkane und über Miniatur-Vulkane aus Schwefel;

ein Versuch, vulkanische Eruptionen und vulkanische Kegelbildung im Kleinen nachzuahmen.

Von Prof. Dr. Ferd. v. Hochstetter,
wirklichem Mitgliede der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften.

(Mit 3 Holzschnitten.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 17. November 1870.)

Es ist bekannt, welche wichtige Rolle der Wasserdampf bei den Eruptionen der Vulkane spielt. Wasserdämpfe sind es, welche die Lava im Kraterschlund heben, Wasserdämpfe werden von den Lavaströmen noch ausgehaucht, lange nachdem sie schon zu fließen aufgehört haben, oft in solcher Menge, daß sie zu kleinen secundären Eruptionen auf den Lavaströmen selbst Veranlassung geben. Von eingeschlossenen Wasserdämpfen rührt auch die blasige Structur der Lava her, wenn sie unter geringem Druck erstarrt. Alle diese Thatsachen beweisen, daß in den unterirdischen Herden der vulkanischen Thätigkeit die Gesteinsmassen nicht in einem Zustande von trockener Schmelzung, wie geschmolzenes Metall, sich befinden, sondern in einem Zustande wässriger Schmelzung unter hohem Druck überhitzter Wasserdämpfe.

Die neueren Ansichten über den Vulkanismus der Erde, wie sie von Hopkins und Poulett Scrope und in ähnlicher Weise auch von Sterry Hunt entwickelt worden sind, supponiren daher zwischen einem festen wasserfreien Erdkerne und der festen äußeren Erdkruste eine Zwischenlagerung von mit Wasser imprägnirten Gesteinsmassen, die sich im Zustande wässriger Schmelzung befinden, sei es in der Form isolirter Reservoirs oder in der Form einer continuirlichen Schichte. Die Tiefenlage dieser Schichte, in welcher der Sitz der vulkanischen Thätigkeit zu suchen ist, entspricht nach diesen Ansichten der Tiefe, bis zu welcher das Wasser von der Oberfläche der Erde einzudringen vermag.

In Bezug auf die Bildung der vulkanischen Kegelberge und ihrer Ringgebirge hat die ältere Erhebungs-Theorie Leopold von Buch's längst der neueren Aufschüttungs-Theorie und der Ansicht, daß die ringförmigen vulkanischen Gebirge durch Einsenkungen, durch Einsturz früher gebildeter Kegel entstanden sind, weichen müssen.

Man kann sich nun die Aufgabe stellen, diese Ansichten über den Vulkanismus und die vulkanische Kegelbildung experimentell zu bestätigen, und die vulkanischen Prozesse im Kleinen nachzuahmen. Alle Versuche, wirkliche Lava in wässrigem Schmelzfluß, wie ihn die Natur bietet, durch künstliche Schmelzung von Gesteinsmateriale darzustellen, müssen an dem hohen Schmelzpunkt der Lava und dem ungeheuren Druck, der zu ihrer Schmelzung in Wasser nothwendig wäre, scheitern. Es handelt sich also darum, eine Masse zu finden, die bei niedrigerer Temperatur, unter verhältnißmäßig niedrigem Druck im Wasser schmelzbar ist, und dabei die Eigenschaft besitzt, im geschmolzenen Zustand in ähnlicher Weise Wasser in sich aufzunehmen oder zu binden, wie die Lava, und dieses Wasser erst dann wieder in Dampfform nach und nach frei werden zu lassen, wenn die Masse erstarrt. Gelingt es, eine solche Masse zu finden, so wird sich auch der vulkanische Proceß in seinen Haupterscheinungen im Kleinen nachahmen lassen.

Der Zufall hat mir gezeigt, daß Schwefel alle zu jenem Zwecke nothwendigen Eigenschaften besitzt. Bei einem kürzlichen Besuche der „ersten österreichischen Soda-Fabrik“ in Hruschau bei Mährisch-Ostrau, machte mich Herr Dr. Victor v. Miller darauf aufmerksam, daß bei dem Schwefel, welcher aus den Sodarückständen wieder gewonnen wird, nachdem derselbe in geschmolzenem Zustande aus dem Dampf-Schmelzapparate abgelassen worden ist, während der Erstarrung desselben auf der Oberfläche oft kleine vulkanähnliche Kegelformen sich bilden.

Dies gab mir Veranlassung, die Sache näher zu untersuchen und den Proceß der Bildung dieser Kegelformen zu beobachten. Ich überzeugte mich alsbald, daß dabei Erscheinungen auftreten, die im Kleinen vollkommen analog sind den Vorgängen bei vulkanischen Eruptionen im Großen, und daß es bei einiger Nachhilfe möglich sein müsse, die hübschesten Miniatur-Vulkane aus Schwefel vor den Augen des Beobachters entstehen zu lassen.

Der Vorgang bei der Schwefelgewinnung und die Erscheinungen bei der Erstarrung des Schwefels sind nämlich in Kürze folgende:

Der aus den Sodarückständen, welche im Wesentlichen aus einfach Schwefelcalcium bestehen, in der Form eines unreinen mit Gyps gemengten Pulvers gewonnene Schwefel wird, um ihn von dem beigemengten Gyps zu reinigen, in einem Dampfschmelzapparate in Wasser unter einem Dampfdruck von 2—3 Atmosphären und einer dieser Dampfspannung entsprechenden Temperatur von 128° Cels. geschmolzen. Der Gyps bleibt im Wasser theils gelöst, theils suspendirt, und der geschmolzene Schwefel wird von Zeit zu Zeit unter Druck in hölzerne Tröge abgelassen. Die Temperatur des aus dem Schmelzapparat ausfließenden Schwefels beträgt circa 122° C. Die Tröge oder die Holzformen, in welche der Schwefel ausgegossen wird, sind 23 Zoll tief, 15 Zoll breit und 23 Zoll lang; sie fassen ungefähr 1½ Ctr. Schwefel. Gleich nach dem Ausguß, zum Theil schon während desselben, bildet sich an der Oberfläche in Folge der Abkühlung eine feste Schwefelkruste. In dieser Kruste bleiben jedoch in der Regel an mehreren Punkten kleinere oder größere Stellen offen, in welchen der Schwefel eine Zeit lang ziemlich stark kochend aufwallt. Sobald diese Öffnungen bei fortschreitender Erstarrung des Schwefels kleiner werden, beginnen förmliche Eruptionen durch die offen gebliebenen Stellen.

Es zeigt sich nämlich, daß der geschmolzene Schwefel in dem Schmelzapparat eine gewisse Menge Wasser in sich aufgenommen und förmlich gebunden hat, und daß dieses so gebundene Wasser nur ganz allmählig in der Form von Dampf wieder frei wird, wie es scheint in demselben Maße, als der Schwefel aus dem flüssigen Zustande in den festen übergeht. Dieser aus der geschmolzenen Schwefelmasse sich nach und nach entwickelnde Wasserdampf, dem auch ein wenig Schwefelwasserstoffgas beigemischt ist, ist die Ursache der Eruptionen, die in periodischen Intervallen von einer halben bis zu zwei Minuten stattfinden. Dabei werden Theile der geschmolzenen Schwefelmasse durch die Öffnung emporgepreßt und breiten sich auf der oberen Schwefelkruste deckenförmig aus, bis sie erstarren. Durch die fortdauernden Eruptionen wird nach und nach ein immer mehr sich erhöhender Kegel gebildet. Wie der Kegel wächst, gestaltet sich der Ausflußcanal mehr und mehr zu einem kleinen Krater, die Eruptionen werden lebhafter, mehr explo-

sionsartig, und der geschmolzene Schwefel fließt in förmlichen Strömen, wie Lavaströme, an den Abhängen des gebildeten Kegels herab, dabei bilden sich auf den Schwefelströmen Canäle wie die Schlacken-canäle der Lavaströme, und es finden kleine secundäre Eruptionen auf den Schwefelströmen statt, indem denselben noch während der Erstarrung kleine Dampfblasen entweichen. Unmittelbar nach einer Eruption ist der Krater vollständig leer, und man kann beobachten, wie der geschmolzene Schwefel allmählig im Krater wieder steigt, endlich den Gipfel erreicht und mit einer plötzlichen stärkeren Dampfentwicklung, die sich durch eine kleine Dampfwolke bemerkbar macht, ausgestoßen wird. Gegen das Ende des Processes wird der Schwefel auch in flüssigen Tropfen, die in größerer oder geringerer Entfernung vom Krater, vulkanischen Bomben ähnlich, niederfallen, ausgeworfen. Der Eruptionsproceß dauert, wenn man in der oberen Schwefelkruste nur eine Öffnung offen gelassen hat, 1 bis $1\frac{1}{2}$ Stunden, und endet, wenn man ihn nicht unterbricht, damit, daß der Krater, nachdem sich ein Kegel von $1-1\frac{1}{2}$ Fuß Durchmesser an der Basis und $2-3\frac{1}{2}$ Zoll Höhe gebildet hat, durch erstarrenden Schwefel schließt. Während der ganzen Dauer der Eruptionen bleibt die Temperatur der geschmolzenen Schwefelmasse unter der äußeren Kruste constant auf 116° Celsius, und die Erstarrung des Schwefels geht so langsam vor sich, daß noch nach mehreren Stunden ein Theil des Schwefels im Innern der Form in flüssigem Zustande ist.

Die auf diese Art durch einen dem vulkanischen Eruptionsproceß völlig analogen Eruptionsvorgang gebildeten Schwefelkegel sind wahre Modelle vulkanischer Kegelbildung, welche die Aufschüttungstheorie in der vollständigsten Weise illustriren. Man erhält sie in der vollkommensten Weise, wenn man dem natürlichen Vorgange künstlich etwas nachhilft. Die erste Kruste, welche sich theilweise schon während des Ausflusses des Schwefels aus dem Apparate bildet, ist uneben und rauh und in Folge dessen sind die Öffnungen, welche bleiben, sehr unregelmäßig. Man thut deßhalb gut, die erste Kruste vollständig zu entfernen, und eine neue ebene Kruste sich bilden zu lassen. Die Öffnungen, welche sich gewöhnlich in der Nähe des Randes der Holzform von selbst bilden, kann man leicht durch Abkühlung schließen, und dann in die Mitte der Holzform eine künstliche Öffnung machen, damit die Eruptionen durch

diese stattfinden und der Kegel sich nach allen Richtungen gleichmäßig ausbilden kann. Bemalt man die Kruste gleich zu Anfang z. B. mit grüner Farbe, so hebt sich dann der durch Eruption gebildete Kegel um so deutlicher von seiner Basis ab.

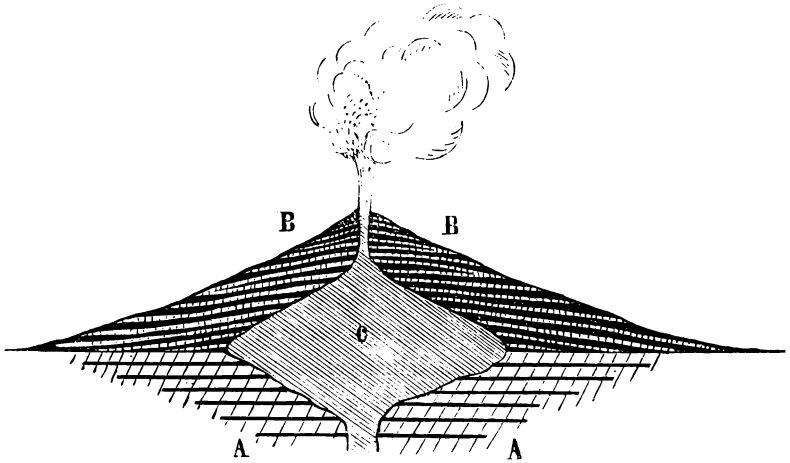
Die Aschen- und Lapilli-Auswürfe der Vulkane, deren Material die Lavaströme überdeckt und zur Bildung der Tuff- und Aschenschichten zwischen den Lavaströmen Veranlassung gibt, kann man dadurch nachahmen, daß man von Zeit zu Zeit durch ein feines Gittersieb den Schwefelkegel mit Farbstaub überstreut. Die Farbe bleibt auf den frisch ausgeflossenen Schwefelströmen, so lange sie noch warm und nicht vollständig erhärtet sind, haften, auf den älteren gänzlich erstarrten aber nicht, so daß es auf diese Weise möglich wird, die periodisch nach einander erfolgenden Schwefelergüsse auch durch verschiedene Farben zu charakterisiren, und so den Aufbau des Kegels durch periodische Ausbrüche an dem Modell anschaulicher zu machen.

Bei diesen Versuchen hat sich ferner noch eine andere Thatsache ergeben, welche einen Rückschluß erlaubt auf ähnliche Verhältnisse bei wirklichen Vulkanen. Ich habe früher erwähnt, daß, wenn man den Eruptionsproceß nicht unterbricht, sich der Krater des auf diese Weise gebildeten Kegels allmählig von selbst schließt. Ein solcher Kegel besteht, wie man sich durch Zerschlagen desselben nach vollständiger Erkältung der Masse überzeugen kann, aus einer fast compacten körnigen Schwefelmasse, auf deren Querbruch man die einzelnen Schwefelströme, aus welchen er sich gebildet hat, kaum mehr erkennen kann. Man kann aber den Proceß auch unterbrechen. Öffnet man nämlich am Rande der Holzform in der Schwefelkruste ein anderes Loch, so hören die Eruptionen durch den Krater augenblicklich auf und der in das Innere des Kegels aus der Tiefe emporgepreßte geschmolzene Schwefel sinkt zurück. Untersucht man dann einen solchen Kegel, so findet man, daß er inwendig hohl ist, man findet die Innenseite mit spiessigen durchsichtigen monoklinen Schwefelkrystallen besetzt, die bei vollständiger Erkältung der Masse in Folge der Paramorphosoe in rhombischen Schwefel trübe werden. Es ist also klar, daß während der Dauer der Eruptionen im Inneren des Kegels ein Theil des durch die früheren Eruptionen zu Tage geförderten und bereits erstarrt gewesenen Materiales, und zwar der der Eruptionsöffnung zunächst liegende Theil mit einem Theile der zuerst gebildeten Kruste wieder umgeschmolzen worden ist, so daß der

äußere Kegel nur eine Hohlform oder einen Mantel darstellt, der sich kurz vor einer Eruption durch die von unten emporgepreßte flüssige Masse füllt, nach der Eruption aber in Folge des Zurücksinkens der geschmolzenen Masse wieder leert.

Ich meine nun, ganz ähnlich müsse sich die Sache auch bei wirklichen Vulkanen verhalten, und würde demgemäß den Durchschnitt eines thätigen Vulkans in folgender Weise zeichnen:

Fig. 1.

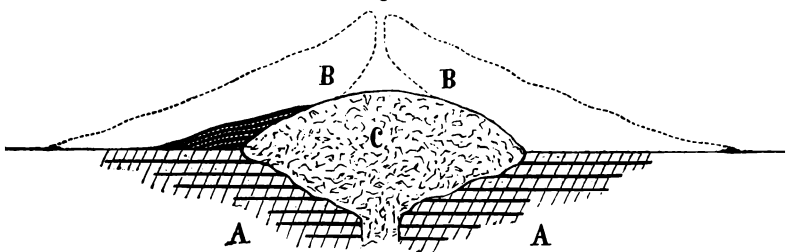


A das durchbrochene Grundgebirge, *B* der aus ausgeflossenem und ausgeworfenem Materiale allmählig in Schichten aufgebaute kegelförmige Mantel des Vulkans, das vulkanische Gerüste, *C* der innere Hohlraum des Vulkans oder der Lavaraum, welcher sich periodisch mit flüssiger Lava füllt, und sich seitwärts durch Wiederschmelzung bereits erstarrter Lavamassen entsprechend dem Wachsthum des Vulkanes erweitert.

Bei einer solchen inneren Structur der vulkanischen Kegelberge erklärt sich auch die Möglichkeit seitlicher Ausbrüche von selbst, die nach der gewöhnlichen Vorstellung bei einem von oben nach unten trichterförmig sich verengenden Schlund kaum denkbar wären. Ebenso leicht lassen sich nach unserer Vorstellung die beiden in ihrer äußeren Form so ganz entgegengesetzten Grundtypen, in welchen erloschene Vulkane oder „Vulkan-Ruinen“ vorkommen, erklären, ich meine die „Dom-Vulkane“ nach der Bezeichnung Herrn v. Seebach's und die vulkanischen Ringgebirge oder die Kesselkratere, die „Erhebungskratere“ nach der älteren Anschauung.

Wie es nach dem oben Gesagten bei den Schwefeleruptionen der Fall ist, so sind auch bei Vulkanen am Schlusse der Eruptionen zwei Fälle denkbar. Erstens, der Krater des Vulkans schließt sich allmählig, der Druck von unten reicht noch hin den inneren kegelförmigen Hohlraum des Vulkans mit feurig flüssiger Gesteinsmasse zu erfüllen, ohne daß aber ein Durchbruch durch den Krater oder durch die Seitenwände stattfindet. In diesem Falle wird sich bei der Erkaltung dieser Massen im Inneren des geschichteten Mantels ein massiver Kern von gleichartiger petrographischer Beschaffenheit bilden, der bei der äußerst langsamen Abkühlung und Erstarrung unter der schützenden Hülle des Mantels in der Regel auch ein viel deutlicheres krystallinisches Gefüge zeigen wird, als die früher ausgeflossenen rasch erstarrten Laven, und daher petrographisch von diesen verschieden sein wird. Solche Vulkane mit einem massiven inneren Kern sind definitiv erloschen. Durch Abwitterung des leicht zerstörbaren geschichteten äußeren Mantels wird dann im Laufe der Zeiten der massige innere Kern bloßgelegt werden, und als Endresultat des Denudationsprocesses wird eine massive Kuppe oder ein Dom vielleicht noch mit Resten des geschichteten Mantels am Fuße desselben übrig bleiben, wie es Fig. 2 darstellt.

Fig. 2.



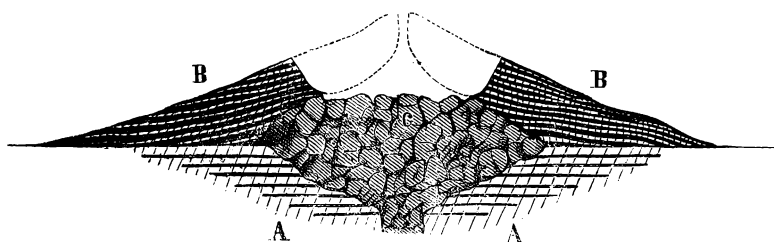
A das durchbrochene Grundgebirge, B Rest des geschichteten Vulkanmantels, C innerer Vulkankern, aus ungeschichtetem krystallinem Massengestein bestehend.

Auf diese Weise denke ich mir die Entstehung der trichterförmig oder keilförmig in die Tiefe fortsetzenden ¹⁾ dom- oder kegel-

¹⁾ Dr. Vogelsang (die Vulkane der Eifel, Haarlem 1864) bemerkt: „So weit wir über die Ausdehnung der Trachyt- und Basaltkegel nach der Tiefe zu Kenntniß haben, wissen wir, daß dieselben trichterförmig nach unten sich verengen; diese Trichterform wurde zuerst bei dem Druidenstein im Siegen'schen durch bergmänn-

die Eruptionsthätigkeit von Neuem beginnen, und es bildet sich dann im Inneren des Ringgebirges ein neuer Aufschüttungskegel, wie das das Beispiel so vieler Vulkane zeigt.

Fig. 3.



A durchbrochenes Grundgebirge, *B* Ruine des geschichteten Vulkanmantels als Ringgebirge, *C* Eingestürzte Massen des ursprünglichen Kegels.

Auch dieser Fall läßt sich vollständig bei der Bildung der Vulkanmodelle aus Schwefel nachahmen. Ich besitze mehrere Modelle dieser Art, bei deren Darstellung mir Herr Dr. Opl, Chemiker der Hruschauer Sodafabrik, behilflich war, die im Kleinen vollkommen die Verhältnisse des Vesuvs mit der Somma, oder des Piks von Teneriffa mit seinem Cirkus darstellen. Diese Modelle mit Ringgebirgen wurden dadurch erhalten, daß wir unmittelbar nach einer Eruption den hohlen Schwefelkegel vorsichtig einbrachen, die Bruchstücke entfernten, und nun die Eruptionen von Neuem durch die frühere Öffnung oder durch eine etwas seitwärts von der früheren Öffnung angebrachte neue Öffnung beginnen ließen, um einen etwas excentrischen zweiten Kegel zu erhalten.

Die Modelle sind so täuschend naturähnlich, so wahre Miniaturbilder wirklicher Vulkane, daß jeder, der dieselben sieht, zuerst der Ansicht sein wird, daß dieselben in einer künstlich mit aller Sorgfalt nach dem Bild eines wirklichen Vulkanes geformten Matrize gegossen seien, und doch kann man sie vor seinen Augen in Zeit einer Stunde entstehen sehen. Ich kenne keinen Versuch, der das ganze Spiel der vulkanischen Thätigkeit instructiver zur Anschauung bringen und zugleich die Aufschüttungstheorie schlagender beweisen würde, und es ist nur schade, daß sich dieser hübsche Versuch wegen der nothwendigen größeren Apparate nicht in jedem Laboratorium anstellen läßt.

förmigen Trachyt-, Phonolith-, Domit- und Basaltkuppen, überhaupt die Entstehung der sogenannten „homogenen Dom-Vulkane“ v. Seebach's ¹⁾, die man bisher meistens als Massenausbrüche zähflüssiger ihrem Erstarrungspunkte nahen Laven betrachtet hat. Es ist einleuchtend, daß sich dieselbe Theorie auf die Bildung der Porphyry-, Melaphyr-, Diorit-Kuppen u. s. w. anwenden läßt, indem wir in denselben nur die übrig gebliebenen Kernmassen der Vulkane früherer Perioden erkennen, deren geschichteter Mantel vollständig zerstört wurde. Es sind dies Ansichten, von denen ich recht wohl weiß, daß sie nicht neu sind, sondern daß sie schon von vielen Geologen, namentlich auch von Vogelsang, wenn gleich mit anderer Begründung, ausgesprochen wurden. Auch soll damit das wirkliche Vorkommen von Masseneruptionen in keiner Weise geleugnet werden.

Den zweiten Typus erloschener Vulkane bilden die eingestürzten „Strato-Vulkane“, die vulkanischen Ringgebirge oder Kesselkratere. Wenn die eruptive Thätigkeit eines Vulkans nach einer größeren Eruption plötzlich unterbrochen wird, sei es in der Folge von Erdbeben ²⁾, oder durch die Öffnung benachbarter Kratere, so wird die Lava im Innern des Vulkans zurücksinken und der Vulkan wird bei offenem, oder nur oberflächlich verschüttetem Krater hohl sein. Dann sind jene gewaltigen Einstürze denkbar, bei welchen hohe Vulkankegel in sich selbst zusammenbrechen und in die Tiefe sinken, und nur der äußere Fuß in der Form eines geschichteten Ringgebirges mit colossalem Einsturzkrater stehen bleibt, wie es Fig. 3 zeigt.

Solche Vulkane sind in der Regel nicht vollständig erloschen, sondern nach einer kürzeren oder längeren Periode vollständig Ruhe kann

nische Arbeiten festgestellt, später aber durch Steinbruchbetrieb bei mehreren rheinischen Basaltkuppen nachgewiesen, so daß eine derartige Fortsetzung nach der Tiefe wohl als allen diesen vulkanischen Kegelbergen gemeinsam angenommen werden kann. Als charakteristische Beispiele zur Beobachtung dieser unteren Trichter sind anzuführen: der Weilberg im Siebengebirge, der Scheidskopf bei Remagen und der Perlenkopf (ein Nosean-Phonolith-Kegel), bei Hannebach in der Nähe des Laacher-Sees.

- 1) v. Seebach, Vorläufige Mittheilung über die typischen Verschiedenheiten im Bau der Vulkane, und über deren Ursache, Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft. 1866.
- 2) Bei den Versuchen mit Schwefel hat sich nämlich auch ergeben, daß die geringste Erschütterung oder Bewegung der Holzform hinreicht, um die Eruptionerscheinungen für eine Periode von mehreren Minuten zu unterbrechen.