



# SEPARAT-ABDRUCK

AUS DEM

NEUEN JAHRBUCH

FÜR MINERALOGIE, GEOLOGIE UND PALÄONTOLOGIE

**Jubiläumsband 1907.**

(S. 91—114 und Taf. VII.)

## Ueber die äußere Form und den inneren Bau der Vulkane, mit einem Anhang über die Dünen.

Von

**G. Linck** in Jena.

Mit 1 Tafel und 18 Textfiguren.



Stuttgart.

E. Schweizerbart'sche Verlagshandlung (E. Nägele).

1907.

# Ueber die äußere Form und den inneren Bau der Vulkane, mit einem Anhang über die Dünen.

Von

**G. Linck** in Jena.

Mit Taf. VII und 18 Textfiguren.

## I. Äußere Form.

Wenn wir uns einen Vulkanberg vergegenwärtigen wollen, so steigt vor unserem geistigen Auge ein gewaltiger, oben abgestutzter Kegelberg empor, dessen Gehänge oben steil, nach unten hin immer flacher werdend mit einer nach außen konkaven Linie sich von dem Horizont abhebt. Dieses Bild eines Vulkans ist sozusagen historisch geworden. Wohl zuerst so erkannt von den Laien sehen wir den Fusi-yama auf den alten, durch NAUMANN<sup>1</sup> reproduzierten, japanischen Zeichnungen ebensowohl in dieser Weise gebaut, wie die von HUMBOLDT beschriebenen Vulkane von Mexiko und Quito, oder den von HOCHSTETTER<sup>2</sup> abgebildeten Mount Egmont auf Neuseeland (Fig. 1), und ein gleiches Bild von der äußeren

<sup>1</sup> E. NAUMANN, Fujisan. Jahresber. d. geogr. Ges. in München. 11. 1886.

<sup>2</sup> v. HOCHSTETTER, Neuseeland. 1863.

Form liefert uns **POULETT SCROPE**<sup>1</sup>, der bedeutende Vulkanforscher, ebenso wie unser berühmter **MOLTKE**<sup>2</sup> in seiner Beschreibung der Campagna. Man könnte demnach glauben, daß dieses Bild in der Tat das durchaus richtige wäre, denn es ist sozusagen geheiligt durch alte Überlieferung. Wenn wir uns nun aber umsehen auf den Vulkanbildern, welche ihre Entstehung nicht der Betrachtung mit dem menschlichen Auge verdanken, sondern der Photographie, so finden wir sehr zahlreiche Beispiele, welche uns ein anderes Bild von der äußeren Form der Vulkane gewähren. Insbesondere mehrere mir vor-

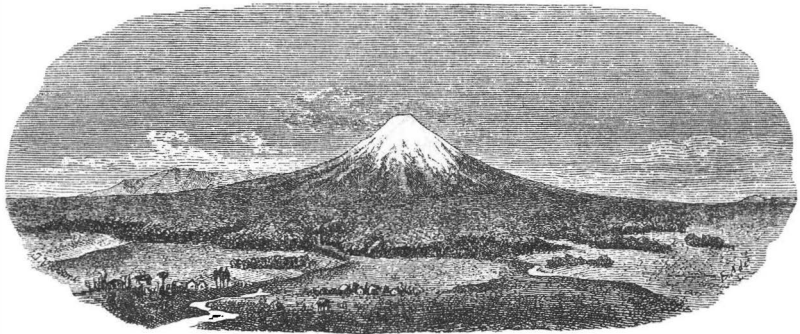


Fig. 1. Mount Egmont auf Neuseeland. Nach HOCHSTETTER.

liegende Bilder von Vesuv und Monte Somma zeigen an der Böschung nicht jene nach außen konkave Linie, wie sie z. B. auch in **NEUMAYR**'s Erdgeschichte oder in **CREDNER**'s Geologie abgebildet ist, sondern die Linie ist eine gerade oder in manchen Fällen sogar nach außen konvexe, wie bei dem von **HOCHSTETTER** abgebildeten Mount Wellington (Fig. 2). Ähnlich ist es bei einigen Vulkanen, die **STÜBEL**<sup>3</sup> aus Columbien abgebildet hat, und Ähnliches zeigen mir die Photographien vom Semeroe auf Java und vom Krakatoa, so daß es wohl berechtigt ist, einige

<sup>1</sup> **POULETT SCROPE**, Über Vulkane. II. Aufl. Übersetzt von **G. A. v. KLÖDEN**. Berlin. 1872.

<sup>2</sup> **MOLTKE**, Wanderbuch. Berlin 1879.

<sup>3</sup> **A. STÜBEL**, Die Vulkanberge von Colombia. Dresden 1906.

Zweifel darein zu setzen, ob jenes historische Bild auch immer den Vorteil der Treue für sich habe. Es ist ja eine bekannte Tatsache, daß besonders in den Werken von ALEXANDER V. HUMBOLDT<sup>1</sup>, aber auch bei anderen älteren Autoren, die Neigung der Vulkanböschungen besonders gegen den Gipfel hin viel zu steil gezeichnet wurden. Dies beruht aber offenbar auf einer optischen Täuschung, denn der am Fuße eines hohen Kegels Stehende vermag ja nicht den ganzen Kegel

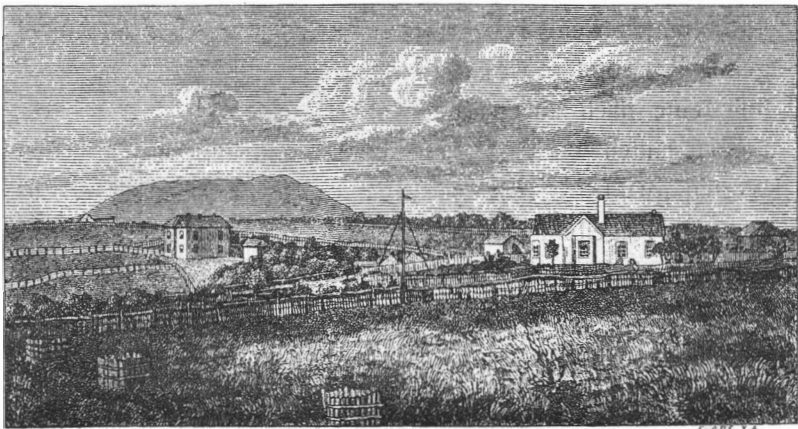


Fig. 2. Mount Wellington, Neuseeland. Nach HOCHSTETTER.

zugleich mit seinen Augen zu umfassen, sondern er wird die einzelnen Abschnitte, die er in zeitlicher Aufeinanderfolge auf seiner Netzhaut wahrnimmt, zu einem Gesamtbilde kombinieren.

Aber doch muß etwas Wahres an der Mitteilung über die Konkavität der Böschungslinien eines Vulkans sein, denn der Engländer JOHN MILNE<sup>2</sup> hat solche Berge in Japan und auf den Kurilen photographisch aufgenommen, und wir

<sup>1</sup> Vergl. J. MILNE, On the form of volcanos. Geol. Mag. (2.) II. Dec. 5. 340.

<sup>2</sup> J. MILNE, On the form of volcanos. Geol. Mag. (2.) II. Dec. 5. — Further notes upon the form of volcanos. Ebenda. 6.

können nicht wohl voraussetzen, daß seine Apparate in den siebziger Jahren noch so schlecht waren, daß sie derart verzeichnet hätten. Er hat die Berge auf den Photographien ausgemessen und hat geglaubt feststellen zu können, daß die äußere Böschungslinie eine logarithmische sei, was er in Übereinstimmung fand mit den Angaben RANKINE's (Investigations about earthworks) über den Böschungswinkel von lockeren Erdmassen im stabilen Zustand. Wir wollen dabei absehen davon, daß die Zahlen, die er gefunden hat, den Forderungen wenigstens ungefährer Genauigkeit nicht einmal genügen<sup>1</sup>, sondern wollen nur feststellen, daß die Böschungslinie eine nach außen konkave sei. Nach diesen Beobachtungen hätten wir demnach eine Übereinstimmung mit den Worten MOLTKE's, der die Vulkane leicht erkennbar erklärt „an der Kegelbildung mit sanften Abhängen, wie sie der natürliche Schüttungswinkel von Sand, Asche und Geröllen gestattet“.

Diese Angaben, diese Bilder sind späterhin bis auf den heutigen Tag in alle Lehrbücher übergegangen; und wenn es nun gewagt werden soll, eine neue Erkenntnis an Stelle der historischen zu setzen, so kann jene nur durch Experimente begründet werden, und diese werden sich in erster Linie zu beziehen haben auf den natürlichen Böschungswinkel von lockeren Massen. In bezug hierauf aber haben wir ausgezeichnete Vorarbeiten durch F. AUERBACH<sup>2</sup>, welcher vor wenigen Jahren Studien über die Gleichgewichtsfiguren pulver-

<sup>1</sup> Auch die von MILNE durch Ausmessung der Photographie des Fusijama gefundene Böschungslinie auf Taf. VII, Kurve I der ersten oben zitierten Abhandlung entspricht nicht einer logarithmischen Linie, sondern ist eher konvex. Ebensowenig fanden seine Annahmen eine Bestätigung durch von ihm mit Sand etc. ausgeführte Experimente, wie er selbst in der zweiten Abhandlung p. 507 und 508 berichtet.

<sup>2</sup> F. AUERBACH, Die Gleichgewichtsfiguren pulverförmiger Massen. Ann. d. Phys. (4) 5. 1901.

förmiger Massen mit Hilfe von Experimenten und genauen daran anschließenden Messungen veröffentlicht hat. Allerdings beziehen sich diese Aufschüttungen, die er vorgenommen hat,

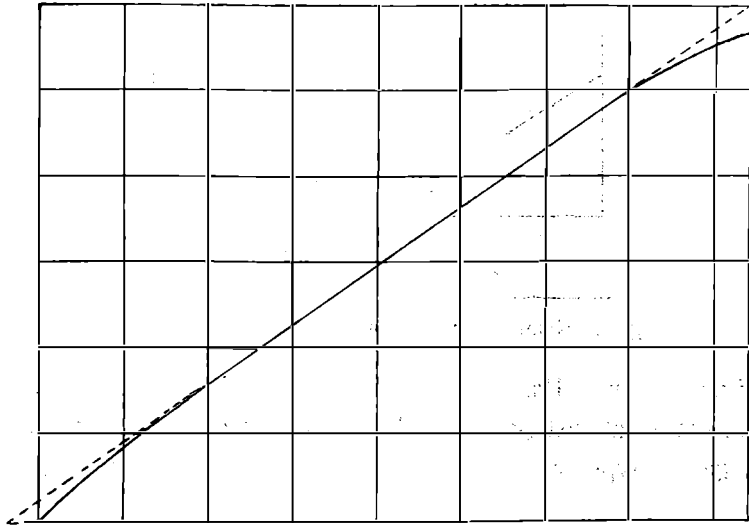


Fig. 3. Natürlicher Böschungswinkel von Mohnsamen. Nach AUERBACH.

auf endlich begrenzte Ebenen, so daß für uns nur der obere Teil seiner Figuren in Betracht kommen kann. Aus diesen Untersuchungen ergibt sich nun, daß die Böschungslinie solcher Massen im wesentlichen eine Gerade darstellt, die sowohl oben als unten in eine nach außen konvexe Linie übergeht. Bei näherer Ausmessung hat sich aber ergeben, daß diese Linie eine Hyperbel ist, also in ihrem ganzen Verlauf nach

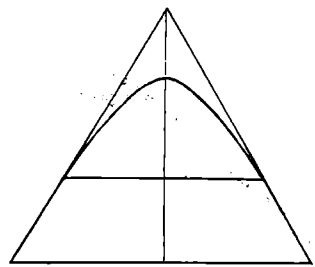


Fig. 4. Die Kegelspitze. Nach AUERBACH.

außen konvex. So hat er es nachgewiesen für die einseitige Böschung (Fig. 3), so für die Gleichgewichtsfigur auf kreisförmiger Basis (Fig. 4 u. Taf. VII Fig. 1), in welcher letzterem Falle der Kegel über dieser Kreisfläche der unteren Schale

eines zweischaligen Rotationshyperboloids mit vertikaler Hauptachse und einem Achsenverhältnis gleich dem Tangens der Normalböschung des Pulvers entspricht. Die Gleichgewichts-

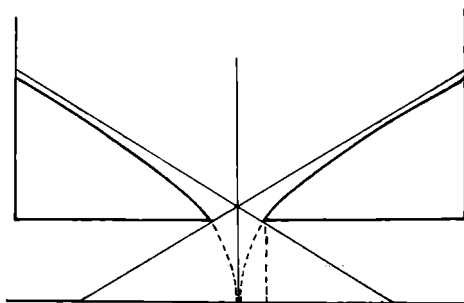


Fig. 5. Neigung im offenen Krater. Nach AUERBACH.

figur über einer Basis mit einer mittleren kreisförmigen Öffnung ist die Rotationsfigur eines oberen Stückes einer horizontal gelegenen Hyperbel, um die durch das Öffnungszentrum gehende

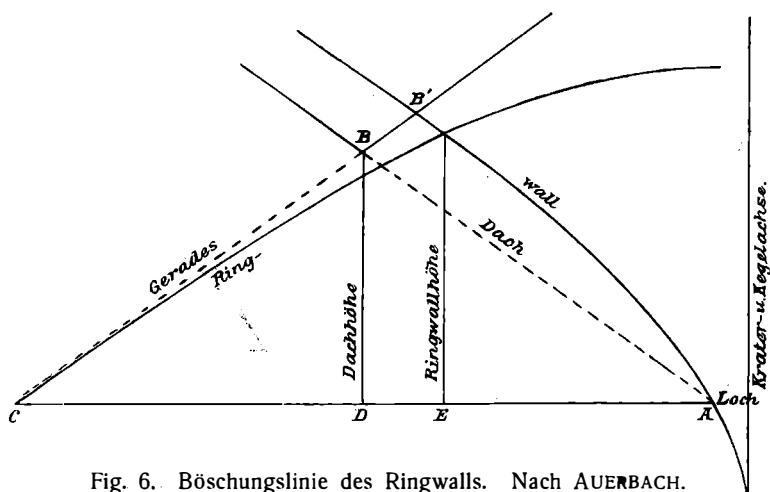


Fig. 6. Böschungslinie des Ringwalls. Nach AUERBACH.

Vertikalachse (Fig. 5); die Kraterlinien oder vielmehr die Böschungslinien des Kraters sind demnach also ebenfalls konvex.

Interessant sind auch seine Betrachtungen über den Ringwall, d. h. an einer Aufschüttungsfigur über einer kreisförmigen

Basis mit einer zentralen Öffnung (Fig. 6), einer Figur, die dem Vulkan relativ am nächsten kommt. Hierbei zeigt sich nämlich, daß der Krater eine stärkere Neigung erhält und stärker konvex ist als der Außenrand des Ringes. Es unterscheidet sich also der Ringwall vom Dach dadurch, daß bei dem letzteren die beiden Böschungen gleich groß und gleich geneigt sind, während beim Ringwall die innere Böschung steiler ist als die äußere. Ganz allgemein sind aus diesen Untersuchungen noch die Worte hervorzuheben: „sie (die Normalböschung) ist desto größer, je kleiner, je dreidimensionaler, je kantiger und eckiger, je leichter das Korn und je rauher seine Oberfläche ist.“

Ein Vergleich der AUERBACH'schen Resultate mit dem, was sonst angenommen wird oder was uns die Natur lehrt, ergibt nun folgendes. Bezüglich der äußeren Form des Vulkans findet keine Übereinstimmung mit den üblichen in den Lehrbüchern reproduzierten Bildern, weder mit den schematischen, noch mit den Naturaufnahmen, statt. Während allgemein angenommen wird, daß die äußere Böschungslinie des Vulkans konkav sei, während auch MILNE durch seine Ausmessungen zum Resultat kommt, daß jene Böschungslinie einer logarithmischen entspreche, sehen wir, daß nach AUERBACH diese Linie, wenn wir sie mit MOLTKE u. a.<sup>1</sup> als die Aufschüttungsböschung lockerer Massen ansehen wollen, einer Hyperbel entspricht, also konvex ist. Was aber den Krater anbelangt, so stimmen wenigstens die AUERBACH'schen Versuche insoweit mit der geläufigen Annahme überein, als dem Krater eine steilere Neigung der Böschung zukommt als dem äußeren Wall. Aber auch das ist wohl kaum berücksichtigt worden, daß auch der Krater eine konvexe Böschungslinie besitzt. Es gilt demnach, diesen Widerspruch aufzuklären.

---

<sup>1</sup> Vergl. auch E. SUESS, Das Antlitz der Erde. I. 1885. p. 191. Dort wird auf die Ähnlichkeit der Vulkanberge mit den durch Erdbeben hervorgerufenen Sandkegeln hingewiesen.



Zu diesem Zwecke habe ich selbst Experimente unternommen, deren leitender Gedanke der war, daß es sich bei dem Vulkan nicht um eine Aufschüttungsböschung im gewöhnlichen Sinne des Wortes handelt, sondern daß wir berücksichtigen müssen, daß die Massen durch die vulkanische Kraft mehr oder minder hoch emporgeschleudert werden und dann bei ungestörten Verhältnissen gleich den fallenden Tropfen eines Springbrunnens in Form eines konischen Mantels oder einer Glocke aus mehr oder minder großer Höhe niederfallen. Diesem Gedanken entsprechend habe ich mir den auf Taf. VII Fig. 4 abgebildeten Apparat<sup>1</sup> konstruiert, in welchem mit Hilfe irgend eines komprimierten Gases Sand aus einer Röhre ausgeblasen wird, der dann auf eine ebene Fläche rund um die Ausbruchsstelle niederfallen kann. Die Röhre muß gegenüber der Unterlage, um zunächst einen Normalvulkan zu erhalten, genau lotrecht orientiert sein. Läßt man dann den Gasstrom (ich habe komprimierten Sauerstoff verwendet) durch die Röhre austreten, wozu im allgemeinen ein Druck von  $\frac{1}{2}$  bis  $\frac{3}{4}$  Atmosphären genügt, und läßt gleichzeitig durch ein engeres seitliches Rohr mit Hilfe eines Trichters staubfreien Sand in den Gasstrom gelangen, so wird der Sand durch die Öffnung ausgeschleudert und fällt, wie oben beschrieben, auf die Unterlage nieder. Dies setzt man so lange fort, bis der um die Öffnung angehäuften Kegel eine beliebige Höhe erreicht hat. Ich habe es im allgemeinen so lange fortgesetzt, daß bei Unterbrechung des Versuchs von dem Krater nicht mehr Sand abrollte, als daß die Zuführungsröhre sich eben damit füllte. Auf diese Weise erhält man dann das Schema eines Vulkans.

Die Höhe des so erhaltenen Vulkans hängt wesentlich ab nur von der Dauer des Experiments, d. h. von der zugeführten Sandmenge; die Neigung der Böschung ver-

<sup>1</sup> Der Apparat wird zum Preise von 20 Mk. von Tischlermeister BEZOLD in Jena nach meinen Angaben angefertigt.

größert sich mit der Verkleinerung des Sandkorns; die bedeckte Grundfläche vergrößert sich mit der Vergrößerung des Sandkorns und mit der Vermehrung der Auswurfshöhe; der Durchmesser des Kraters wird länger mit der Erweiterung der Ausbruchsstelle, im allgemeinen (siehe auch p. 108) auch mit der Höhe des Berges, mit der Wurfhöhe der Eruption und mit der Vergrößerung der Korngröße des Sandes (siehe Taf. VII Fig. 2 u. 3). Bei einer Korngröße von durchschnittlich 0,15—0,2 mm und bei einer Öffnungsweite der Ausbruchsstelle von 10 mm z. B. waren die Dimensionen nach einer Viertelstunde und bei einer Auswurfshöhe von etwa 60 cm über der Sohle folgende:

Basisdurchmesser . . . . .	35 cm
Vulkanhöhe . . . . .	3,5 „
Kraterdurchmesser . . . . .	11 „

Bei einer Korngröße von durchschnittlich 0,25—0,30 mm und sonst gleichen Verhältnissen:

Basisdurchmesser . . . . .	56 cm
Vulkanhöhe . . . . .	4 „
Kraterdurchmesser . . . . .	15,5 „

Betrachtet man nun die Böschungslinien zunächst am äußeren Wall, so sieht man sofort, daß der mittlere Teil dieser Linie nahezu eine Gerade, keinesfalls konkav, eher leicht konvex ist. Nach oben hin, nach dem Krater zu, wird die Neigung langsam kleiner und es entsteht eine parabelähnliche Umbiegung, also die Linie erscheint deutlich konvex. Nach unten hin dagegen nimmt die Neigung der Linie ebenfalls ab, sie wird dadurch konkav und geht ganz allmählich in die Horizontale über. Der Krater zeigt eine Böschungslinie, die wesentlich steiler ist als die des Walles, die ferner vom Grunde aus bis oben hin eine Gerade zu sein scheint, während sie oben verflacht und langsam mit der von außen kommenden Parabel verschmilzt, so daß vor allen Dingen kein scharfer Kratertrand entsteht (vergl. Taf. VII Fig. 2, 3 u. 5—7).

Ich habe meinen Herrn Kollegen AUERBACH, der ja Sachkenner ist in diesen Dingen, um eine Erklärung der Erscheinungen gebeten, und er teilt mir darüber nachstehendes mit:

„In bezug auf die Formen, die die Oberfläche pulverförmiger Substanzen annimmt, ist zu unterscheiden zwischen eigentlichen Gleichgewichtsfiguren und Abrollfiguren. Jene entstehen unter statischen Verhältnissen, wie sie stattfinden, wenn man z. B. — vergl. meine Versuche in *Ann. d. Phys.* 5. p. 170 (1901) — eine Sandmasse mit gegebener Basis aus einer größeren Masse langsam heraushebt oder auf eine gegebene Basis Sand mit einem Minimum von Fallhöhe aufschüttet. In dem hier interessierenden Falle, daß die Basis

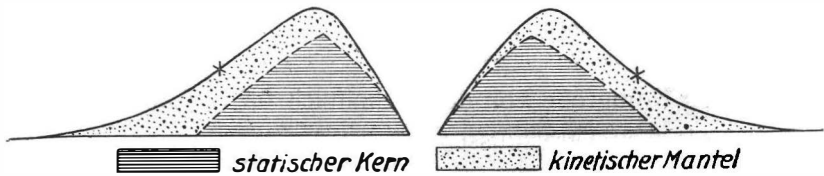


Fig. 7.

äußerlich unbegrenzt ist, in der Mitte aber ein rundes, kleines Loch hat, entsteht eine Figur, die ich als Ringwall bezeichnet habe, und die, soweit es hier in Betracht kommt, in der Zeichnung durch eine gestrichelte Linie im Hauptschnitt angedeutet ist (Fig. 7, vergl. auch Fig. 6). Ganz anders gestaltet sich die Figur, wenn man den Sand auf die Basis fallen läßt, so daß die Körner im Momente des Auffallens bereits eine lebendige Kraft besitzen. Die Untersuchung dieses Falles würde sich am einfachsten gestalten und die Figur die reinste Gestalt annehmen, wenn man eine Basis ohne Loch nähme und den Sandstrahl geschlossen auf einen Punkt der Basis senkrecht auffallen ließe. Durch das Loch werden die Bedingungen natürlich wesentlich verändert, und man wird, um die Verhältnisse bei Vulkanen nachzuahmen, entweder, wie es Herr

LINCK getan hat, einen Sandstrahl von unten aus dem Loche nach oben schießen oder von oben her an einem scheibenförmigen Hindernis abprallen lassen, wie ich es bei einigen Versuchen getan habe, zu denen mich die des Herrn LINCK anregten; in beiden Fällen bildet der herabfallende Sand eine Glocke und trifft die Basis, ideal, in einem Kreise, in der Wirklichkeit in einem Ringe. Nun tritt die dynamische Erscheinung auf, die die statische Figur umgestaltet, indem sie sich gewissermaßen über sie lagert. Die Körner werden nämlich infolge ihrer lebendigen Kraft weiter rollen, als die bloßen Gleichgewichtsbedingungen erfordern, und zwar werden sie nach dem Gesetze der Wahrscheinlichkeit mehr oder weniger weit rollen. Die Oberfläche wird daher eine von der Natur selbst gezeichnete Wahrscheinlichkeitskurve sein, wie sie dem Physiker unter dem Namen Maxwells wohlbekannt ist und wie sie mathematisch durch eine kombinierte Exponentialfunktion dargestellt wird. Diese Kurve ist in der Zeichnung voll ausgezogen dargestellt. Wie man sieht, beginnt sie am Wall mit einem abgerundeten Stück, verläuft dann nach oben konvex, hat dann einen Inflexionspunkt (durch ein Kreuz angedeutet) und verläuft zuletzt nach oben konkav, um sich der Basis nach und nach anzuschmiegen. Ungefähre Ausmessungen haben in der Tat eine gute Übereinstimmung mit der theoretischen Kurve ergeben. Schließlich ist zu bemerken, daß die in Rede stehende kinetische Auflagerung sich fast völlig auf die Außenböschung des Ringwalls beschränkt; der Krater selbst wird durch den Wall, durch den aufsteigenden Sandstrahl und durch das Loch selbst geschützt und bleibt im wesentlichen geradlinig; damit erklärt es sich auch, daß die oberen Schichten des zweifarbigen LINCK'schen Sandes sich ausschließlich nach außen ansetzen. Die Einzelheiten der Gestalt, also das, was die Mathematiker die Konstanten der Wahrscheinlichkeitskurve nennen, werden von der

Stärke des Impulses bezw. der lebendigen Kraft des auffallenden Sandes sowie von dem Radius des Kreises, in dem die Körner auffallen, abhängen, und man kann durch Variation der beiden Größen sehr verschiedene Abrollfiguren herstellen.“

Vergleichen wir nun solch einen schematischen Vulkan mit der Natur, so fällt uns in erster Linie auf, daß seine Gestalt nicht mit der üblichen Auffassung übereinstimmt, denn man hält meist jene konkave Böschung, wie sie der Mount Egmont und andere zeigen und für welche MILNE die Böschungslinie als eine logarithmische bestimmt hat, für die primäre Form, während sie es doch offenbar nicht ist. Aber man findet in der Natur auch, wie ich bereits eingangs erwähnt habe, Beispiele genug für den unserem Schema entsprechenden Verlauf der Böschung. Daß natürlich unser Schema nur gilt, wenn der Auswurfskanal lotrecht zur Unterlage steht, wenn die Luft, in die der Auswurf erfolgt, unbewegt ist, und der Vulkan aufgesetzt wird auf mehr oder minder horizontaler Unterlage, das versteht sich wohl von selbst. Ist z. B. die Luft bewegt, d. h. wehen Winde, so muß die Höhe des Vulkans und auch seine Böschungsneigung auf der Leeseite des Windes eine stärkere sein als auf der Luvseite; steht der Auswurfskanal nicht lotrecht zur horizontalen Aufschüttungsebene, so muß der Krater seitlich gelegen sein, und der Vulkan muß auf der Seite, welche der Richtung des Auswurfskanals entspricht, eine größere Höhe besitzen. So wäre die seitlich gelegene Ausbruchsstelle des Stromboli vielleicht leichter zu erklären als durch eine Caldere<sup>1</sup>; ist die Unterlage nicht horizontal, aber die Ausbruchsröhre sozusagen dem Erdradius parallel gerichtet, wie es bei den Adventivkratern<sup>2</sup> wohl

---

<sup>1</sup> KAYSER, l. c. p. 520.

<sup>2</sup> Fig. 36 bei POULETT SCROPE ist daher mit Bezug auf die Adventivkratere völlig unzutreffend, weil der Kraterrand etwa horizontal liegen müßte.

manchmal der Fall ist, so muß die den Kraterrand berührende Ebene der Aufschüttungsbasis entsprechend geneigt sein. Diesen Tatsachen entsprechen die schematischen Abbildungen in den Büchern auch nicht immer.

Daß wir in der Natur nicht immer die Vulkane unserem schematischen Bild entsprechen sehen, insbesondere dann nicht, wenn die Vulkane seit längerer Zeit außer Tätigkeit sind, oder besonders auch nicht in bezug auf die Böschungslinie des Kraters, das hat seinen Grund darin, daß die Lagerung der losen Teile durch die Erschütterungen der Luft und des Bodens gestört werden, und bei solchen Störungen findet ein Nachsinken der Massen statt. Diese Nachsenkung bezieht sich aber zunächst keineswegs auf den ganzen Kegel, sondern sie setzt erst dort ein, wo nach außen oder innen die flache Neigung der Böschung in eine steile, d. h. in die fast gerade Linie übergeht. Dort bildet sich bei der Erschütterung ein Steilrand von senkrechtem Verlauf, eine Wächte, indem die darüberliegenden Massen offenbar deswegen, weil sie wesentlich nur einen Druck in vertikaler Richtung ausüben, ruhig liegen bleiben, während die darunterliegenden Massen, bei denen die seitliche Komponente des Druckes eine sehr große wird, abrutschen — man kann diesen Steilrand in der Fig. 9 und 8 auf Taf. VII im Krater leicht erkennen; er ist dadurch entstanden, daß ein Teil des im Krater vorhandenen Materials durch eine Öffnung nach unten abgerollt ist. Wird nun später der Steilrand oder die Wächte etwas zerstört und sein Material rollt ebenfalls nach unten ab, so bekommen wir eine vom Kraterrand ausgehende konkave Böschungslinie. Dies kann sowohl für die Böschung des Walles als für die Böschung des Kraters eintreten. So allein schon würde sich jene als typisch angenommene Form der Vulkane erklären, bei der die Böschungslinie eine konkave ist. Aber es kommen ja noch mancherlei andere Umstände dazu, welche die normale Form des Vulkans verwischen oder

ändern<sup>1</sup>. Das geschieht einerseits z. B. durch Denudation und Erosion, auf deren Wirkungen hier nicht näher eingegangen werden soll, bei der aber auch, wie ja allgemein bekannt ist, immer konkave Böschungslinien entstehen; andererseits geschieht es durch die wechselnde Art der vom Krater ausgeworfenen Massen, denn lockere Massen allein verhalten sich anders als Schlammströme, und diese verhalten sich wieder anders als die Ströme von Lava. Aber auch auf diese Modifikationen soll hier nicht näher eingegangen werden. Nur eines mag noch erwähnt werden, was von besonderem Einfluß auf die primäre Form des Vulkanberges ist, das ist die Natur der Eruption. Es ist ein Unterschied, ob wir es mit einem relativ ruhigen Verlauf der eruptiven Tätigkeit oder mit einem sogen. Paroxysma zu tun haben. Bei dem ersteren wird unser Schema im wesentlichen der Natur entsprechen, bei Paroxysmen dagegen, besonders bei denen, bei welchen ganze bereits vorhandene Stratovulkane wieder weggerissen werden, oder bei denen, welche überhaupt die vulkanische Tätigkeit an einem Orte erst einleiten, wird das Bild des entstehenden Vulkans ein wesentlich anderes sein. Es wird nämlich entsprechen demjenigen, welches uns unter dem Namen „Maar“ bekannt ist. Ein experimentelles Schema hierfür läßt sich ebenfalls in zweierlei Weise leicht darstellen. Einerseits zeigt nämlich jeder von mir aufgeblasene Vulkan, wenn man die Aufblasung frühzeitig unterbricht, eine solche Maargestalt, die dadurch charakterisiert ist, daß der Krater weit und die Böschungslinie sowohl nach innen als nach außen flach ist, und andererseits habe ich unter lockeren Massen kleine Pulvermengen zur Explosion gebracht und dabei die schönsten Maare erhalten, die ebenfalls durch flache Böschungswinkel am Wall und im Krater charakterisiert sind. Die Kratere werden um so breiter, je größer die Pulvermenge ist (Taf. VII Fig. 10 u. 11).

<sup>1</sup> Vergl. MILNE, zweite Abhandlung p. 508 ff.

## II. Der innere Bau.

Wenden wir uns nun, nachdem wir von der äußeren Form eines schematischen Vulkans Kenntnis erlangt haben, seinem inneren Bau zu, und betrachten wir die Bilder, welche uns von verschiedenen Seiten hierfür gegeben worden sind.

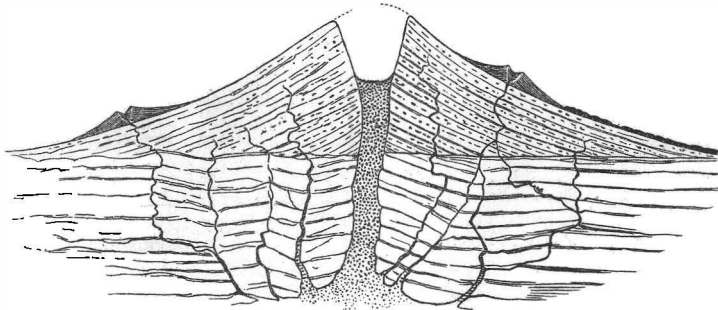


Fig. 8. Idealer Durchschnitt eines vulkanischen Berges nach seiner Paroxysmeneruption. Entleerter Hauptkrater. Parasitische Kratere. Nach POULETT SCROPE.

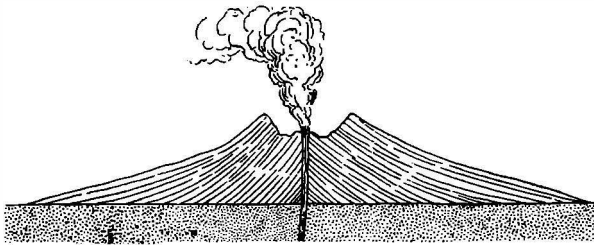


Fig. 9. Schema zur Erläuterung der Entstehung eines Vulkankegels durch fortgesetzte Ausbrüche. Nach E. KAYSER.

Diese können wir in zwei Kategorien teilen. Bei den einen<sup>1</sup> sehen wir die Schichten, welche den Vulkan zusammensetzen, so dargestellt, daß wir von der Ausbruchsstelle aus ein gleichmäßiges antiklinales Fallen nach allen Seiten haben, ohne daß berücksichtigt wäre, daß im Krater selbst das Fallen ein syn-

<sup>1</sup> Vergl. z. B. E. KAYSER, Lehrbuch der Geologie. II. Aufl. Stuttgart 1905. Fig. 370 u. 353.



klinales sein muß (Fig. 8, 9 u. 10); bei den anderen sehen wir vom Kraterrand aus ein synklinales Fallen im Krater, ein antiklinales Fallen im Wall, bald so<sup>1</sup>, daß die Neigung der Schichten im Krater eine flachere sein soll als im äußeren Wall (Fig. 11 u. 12), bald so<sup>2</sup>, daß die Neigung im Krater eine stärkere ist als außen (Fig. 13). Meist zeigen die Schichten

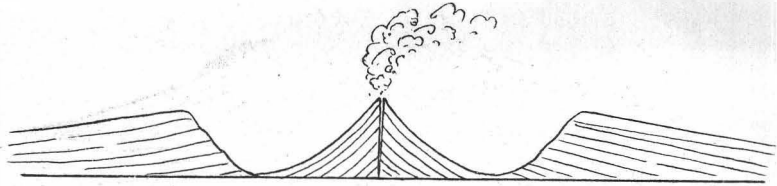


Fig. 10. Schematischer Durchschnitt durch einen zusammengesetzten Vulkan. Nach E. KAYSER.

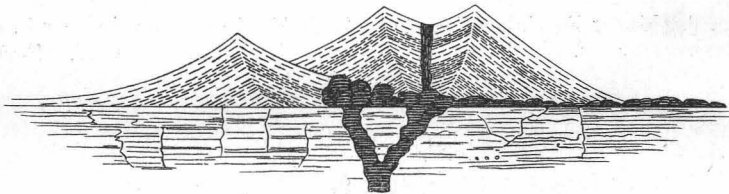


Fig. 11. Idealer Querschnitt des Puy Parion (Auvergne), die Neigung der Schichten im Krater zeigend. Nach POULETT SCROPE.

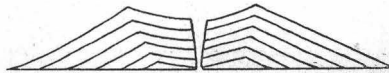


Fig. 12. Profilinien eines Tuffkegels. Nach E. KAYSER.

eine gleichmäßige Mächtigkeit durch den Krater und den Wall hindurch bis zum äußersten Rande hin<sup>3</sup> (Fig. 14). Hier und da wird es auch so aufgefaßt, daß die Mächtigkeit der Schichten im Krater und außen verschieden sei, doch zeigt gerade das hierher gehörige Bild von GÜNTHER<sup>3</sup> keine er-

<sup>1</sup> Vergl. KAYSER, Fig. 364, sowie POULETT SCROPE, Fig. 5 u. 8.

<sup>2</sup> Vergl. REYER, Die Euganeen. 1878. Fig. 8. — HOCHSTETTER, Neuseeland. Figur p. 94.

<sup>3</sup> GÜNTHER, Geophysik. II. Aufl. 1. Fig. 88.

kennbare Gesetzmäßigkeit (Fig. 15). Allen gemeinsam ist der mehr oder minder parallele und konkave Verlauf der Böschungslinie der einzelnen Schichten. Es ist nun ohne weiteres klar, daß keines von diesen Bildern der Wahrheit

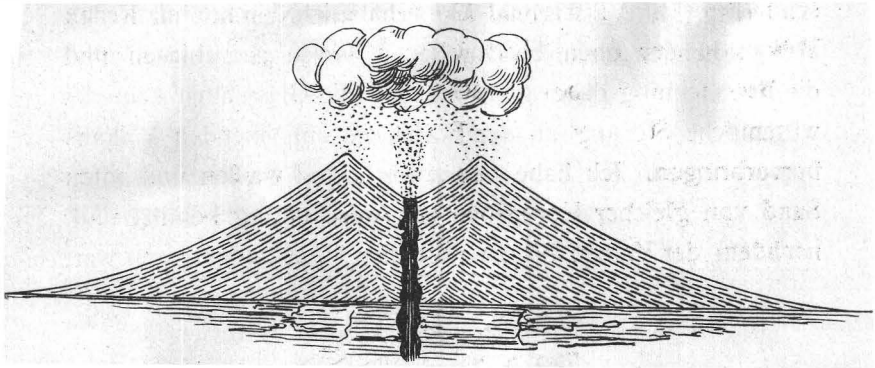


Fig. 13. Idealer Querschnitt eines Aschenkegels, der durch eine einzige Eruption aufgeworfen ist. Nach POULETT SCROPE.

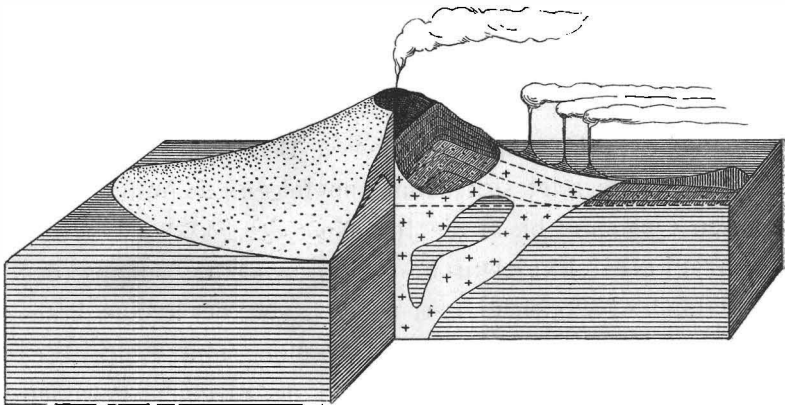


Fig. 14. Schematisches Bild eines Vulkans. Schichtung im Krater. Nach REYER.

nahekommen kann, denn schon eine Veränderung der Höhe des Vulkans oder eine Veränderung der Ausdehnung der überschütteten Basis muß zu einem Wechsel der Mächtigkeit der Schichten innerhalb und außerhalb des Kraters, am Kraterrand oder am Fuße des Berges führen. Auch diese Verhältnisse habe

ich versucht experimentell zu erklären, indem ich von vornherein auf der Aufschüttungsebene zwei die Ausbruchsstelle berührende Glasplatten vertikal auf der Unterlage so montiert habe, daß sie in eine Ebene fallen und den Vulkan mitten durchschneiden (Taf. VII Fig. 4). Dann habe ich den schematischen Vulkan in der oben beschriebenen Weise aufgeblasen und die Beobachtung dabei gemacht, daß die Glasplatten keinerlei wesentliche Störung an der Form des entstehenden Vulkans hervorbringen. Ich habe nun abwechselnd weißen und roten Sand von gleicher Korngröße zur Aufschüttung benutzt und, nachdem der Vulkan bis zu normaler Höhe aufgeblasen war,

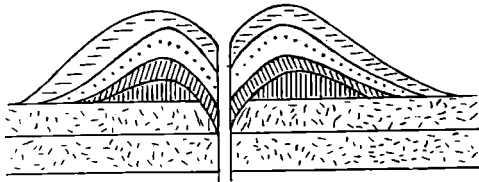


Fig. 15. Schematisches Bild eines Vulkans. Nach GÜNTHER.

die eine Hälfte diesseits der Glasplatten entfernt und so ein prachtvolles Bild von dem inneren Bau erlangt (Taf. VII Fig. 5—8). Es zeigt sich daran nun folgendes: Während der ganzen Operation bleibt die Profilinie der MAXWELL'schen Wahrscheinlichkeitskurve entsprechend, die Isohypse des Kraterrandes bleibt sich immer parallel, aber der Radius dieses Kreises schwankt während der Operation, und zwar ist er zuerst relativ groß, wird dann kleiner bis zu einem gewissen Minimum und vergrößert sich dann andauernd wieder bis zu beliebiger Höhe des Berges (Taf. VII Fig. 5, 7). Die Schichten haben natürlich umlaufendes Streichen und vom Kraterrand aus ein antiklinales Fallen nach außen, ein synklinales nach innen. Die Mächtigkeit der Schichten ist stets am größten unter dem Kraterrand und nimmt nach außen sowohl als innen hin stetig ab, so daß sie nach dem Fuße des Berges

hin papierdünn werden. Die Abnahme der Mächtigkeit nach der Ausbruchsstelle zu geschieht natürlich schneller als nach außen, weil der Krater eine stärker geneigte Böschungslinie besitzt als der Wall. An dem Aufbau des Kraters nehmen aber nicht alle Schichten, also nicht die Produkte von allen Eruptionen teil, sondern dies geschieht nur so lange, bis die kreisförmige Isohypse des Kraterrandes ihren geringsten Durchmesser erreicht hat (Taf. VII Fig. 5, 7); von da ab rollt alles, was sich innerhalb des Kraters und unterhalb des flach geneigten Randes absetzen möchte, nach der Ausbruchsstelle zurück und wird wieder in die Höhe gerissen, bis es hinausgeschleudert wird auf den äußeren Wall. So sehen wir nur eine Anzahl von Schichten, nämlich nur die Produkte der ersten Eruptionen, an dem Aufbau des Kraters teilnehmen, und zwar in immer geringer werdender Mächtigkeit. Derart stellt sich also der innere Bau des Vulkans schematisch dar, und daß da natürlich nun Abweichungen stattfinden, ich meine Abweichungen in bezug auf Mächtigkeit der Schichten, in bezug auf Neigung der Böschungslinien, in bezug auf die Breite der Basis oder in bezug auf die Weite des Kraters, je nachdem wir gröberes oder feineres Material verwenden, und insbesondere je nach der Höhe, bis zu welcher das Material emporgeschleudert wird, ist selbstverständlich, bedarf keiner weiteren Erörterungen und kann experimentell leicht demonstriert werden. Was wir gesagt haben über die Störungen der normalen äußeren Form des Vulkans, das gilt natürlich zum großen Teil auch hier, und ich würde wohl langweilen, wenn ich den Fachgenossen das Hierhergehörige auseinandersetzen wollte.

### III. Zusammengesetzte Vulkane.

Das so gegebene allgemeine Bild für den Aufbau eines Vulkans hat natürlich nur dann eine schematische Gültigkeit, wenn der Vulkan sozusagen in einem Zuge entsteht, d. h.

ohne größere zwischen den Eruptionen liegenden Pausen, in denen eine erhebliche Zerstörung des aufgebauten Berges wieder eintreten kann. Tritt eine solche Zerstörung aber ein, d. h. liegt zwischen zwei Eruptionen eine lange Ruhepause, so wird sich die Störung bemerkbar machen sowohl am äußeren Rande als innerhalb des Kraters. Der äußere Rand wird die charakteristische konkave Böschungslinie annehmen, und das gleiche wird im Krater der Fall sein; das herabrollende Material füllt den unteren Teil des Kraters aus und macht einen mehr oder minder ebenen Kraterboden. Tritt nun nach längerer Zeit wieder eine Eruption ein, so wird sich die gestörte Form allmählich wieder herstellen und nach einiger Zeit wird der Vulkan wieder sein normales Aussehen erhalten. Anders wird es sich dagegen verhalten, wenn die Massen im Kraterboden erhärtet sind und dadurch beim Wiederausbruch des Vulkans die Ausbruchsröhre an einer höheren Stelle endet als zuvor. Es werden sich dann aus dem neuen Auswurfmaterial im Innern des Kraters wieder synklinal geneigte Schichten bilden, und zwar so lange, bis der neue Krater in seinen Profillinien dem alten, tieferliegenden Normalkrater parallel ist. Von diesem Momente an werden neue Auswurfmassen wieder nur auf dem Kraterwall und am äußeren Wall zur Ablagerung kommen (Taf. VII Fig. 6 u. 8).

Ein ganz anderes Bild aber werden wir erhalten, wenn ein vorhandener Vulkanberg durch ein Paroxysma teilweise weggerissen und in die Luft geschleudert wird. In diesem Moment wird von dem alten Vulkan gleichsam nur eine gekrümmte, gegen die Ausbruchsstelle konkave Düne von mehr oder minder großer Höhe stehen bleiben, deren Schichten eine antiklinale Neigung zeigen. Schüttet sich nun über der Ausbruchsstelle wieder ein neuer Vulkan auf, so wird, solange der neue Vulkan nicht die Höhe des früheren erreicht hat, zwischen ihm und dem stehen gebliebenen Reste des alten

Vulkans ein ringförmiger Graben, das Atrio, erhalten bleiben, wie es uns der Vesuv zeigt. Natürlich werden die Schichten des neuen Vulkans gegen die Reste des alten Vulkans hin eine etwas abweichende Lagerung zeigen.

#### IV. Maare.

Es mag an dieser Stelle noch gestattet sein, auf einen Vorlesungsversuch für die Entstehung von Maaren aufmerksam zu machen. In eine flache Holzkiste, in deren Boden kleine, kreisrunde Vertiefungen von etwa 1 cm Durchmesser und 2 mm Tiefe eingeschnitten sind, in welche von zwei gegenüberliegenden Seiten her dünne Messingstäbe enden, bringt man, nachdem diese Vertiefungen mit 0,4—0,6 g Schießpulver angefüllt sind, Sand, der die Kiste bis zum Rande erfüllt; man streicht den Sand vollkommen eben und entzündet das Pulver durch einen elektrischen Funken. Durch die Explosion wird der Sand in die Höhe geschleudert und es entsteht ein flach geneigter Trichter mit einem niedrigen, aufgeschütteten Wall am Rande. Die Weite des Trichters schwankt je nach der verwendeten Pulvermenge und ist um so größer, je mehr Pulver man verwendet hat. Hat man unten zunächst groben Sand oder Kies genommen, so sieht man nachher in dem aufgeworfenen Wall oder in dem Trichter selbst auch Stücke des gröberen, tiefer liegenden Materials verstreut (Taf. VII Fig. 10, 11). Der Versuch ist durchaus ungefährlich und sehr lehrreich.

#### V. Anhang.

##### Einige Bemerkungen über die Form der Dünen.

Vor nicht allzulanger Zeit ist eine kleine Abhandlung, betitelt: Dünenstudien, von OTTO BASCHIN<sup>1</sup>, erschienen, in welcher der Verfasser erklärt, daß das Normalprofil der Dünen

<sup>1</sup> O. BASCHIN, Dünenstudien. Zeitschr. der Ges. für Erdkunde zu Berlin. 1903. p. 422 ff.

auf der Leeseite eine konkave Linie darstelle, ferner, daß es Dünen gebe, bei welchen der Dünenkamm, d. h. ein mehr oder minder scharfer Grat, nicht auf der höchsten Höhe der Düne, sondern von da aus ein Stück abwärts an der Leeseite gelegen sei, und endlich, daß der verschiedentlich auf der Leeseite, d. h. also auf der steilen Seite der Dünen am oberen Rande beobachtete schmale Steilrand durch eine Störung des Normalprofils infolge irgend einer Erschütterung hervorgebracht sei. Betrachten wir nun zuerst das Normalprofil einer Düne, so ist ganz klar, daß wir auf der Leeseite eine Aufschüttungsböschung vor uns haben, bei der die Sandkörner von der Luvseite her mit einem Minimum von Fallhöhe aufgeschüttet werden. Es müßte also nach AUERBACH, wenn diese Art Aufschüttung allein in Betracht käme, die Profillinie der Leeseite einer nach außen konvexen Parabel entsprechen. Nun kommen aber außer den Sandkörnern, welche mit dem Minimum von Fallhöhe einfach sozusagen über den Dünenkamm hinweggeschoben werden, noch andere in Betracht, welche der Wind in einiger Höhe mitführt und weiter außen auf die Leeseite der Düne niederschüttet. Diese Sandkörner müssen demnach die statische Gleichgewichtsfigur, gerade wie bei den Vulkanen, zugunsten der kinetischen ändern, und es muß daher die Profillinie der Leeseite auch mehr oder minder mit der MAXWELL'schen Wahrscheinlichkeitskurve übereinstimmen, d. h. sie muß oben konvex und unten konkav sein. Wird dieses Profil irgendwie, z. B. durch Erschütterung des Bodens oder durch den Wind gestört, so wird sich zunächst wiederum wie bei den Vulkanen ein kleiner Steilrand, eine Wächte, bilden, und zwar an der Stelle, wo die schwache Neigung des Dünenkammes in die steilste Neigung der Leeseite übergeht, d. h. also dort, wo ein großer Teil des Sandgewichts nicht bloß in vertikaler Richtung nach abwärts, sondern auch seitwärts nach der Leeseite hin wirkt

(Fig. 16). Ich muß somit BASCHIN recht geben, wenn er jenes so oft beobachtete Steilrändchen als durch Störung entstanden betrachtet. Dieser Steilrand ist aber nicht beständig, sondern der Sand befindet sich dort in einer recht labilen Gleichgewichtslage (Fig. 17); er wird also leicht einstürzen, und

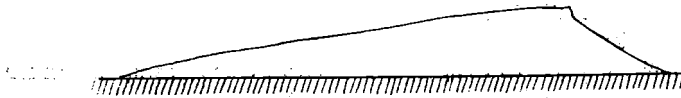


Fig. 16. An der Leeseite gestörtes Dünenprofil mit Wächte. Nach BASCHIN.

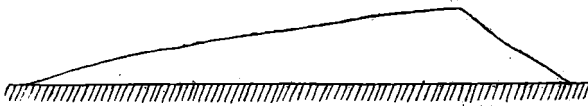


Fig. 17. Profil durch eine fortschreitende Düne. Nach BASCHIN.

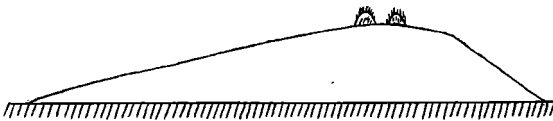


Fig. 18. Auf der Leeseite gelegener Dünenkamm. Nach BASCHIN.

dabei entsteht mit der ersten Störung zusammen eine etwas konkave Profillinie der Leeseite, deren Neigung nach oben hin nun plötzlich in die konvexe Linie des BASCHIN'schen Dünenkammes übergeht, und so scheint es, als ob man einen seitlich gelegenen Dünenkamm vor sich hätte (Fig. 18). Wenn also sozusagen „Normaldünen“ in der Natur so gut wie gar nicht oder gar nicht beobachtet sind, so mag dies eben darin seinen Grund haben, daß die Dünen andauernd großen Erschütterungen der Atmosphäre ausgesetzt sind.

Jena, mineralogisch-geologisches Institut, Dezember 1906.



### Tafelerklärung.

- Fig. 1. Natürlicher Schüttungskegel auf kreisrunder Grundfläche. Nach AUERBACH.
- „ 2. Schematischer Vulkan während der Tätigkeit. Feiner Sand.
  - „ 3. Schematischer Vulkan. Grober Sand.
  - „ 4. Der Apparat in seiner endgültigen Form.
  - „ 5. Durchschnitt durch einen aus wechselndem Material aufgebauten Vulkan.
  - „ 6. Wie Fig. 5. Der Kraterboden ist etwas erhöht, darum lagern sich spätere Schichten wieder der Kraterböschung auf.
  - „ 7. Wie Fig. 5.
  - „ 8. Wie Fig. 6. Es ist aber Material in die Ausbruchröhre zurückgesunken, daher die jüngeren Schichten der Kraterböschung verschwunden und am oberen Rand des Kraters eine Wächte (am dunkeln Streifen kenntlich).
  - „ 9. Gestörter Krater mit Wächte von oben gesehen.
  - „ 10. Maare im Sand.
  - „ 11. Maare im Sand, der von Kies unterlagert wird.
-

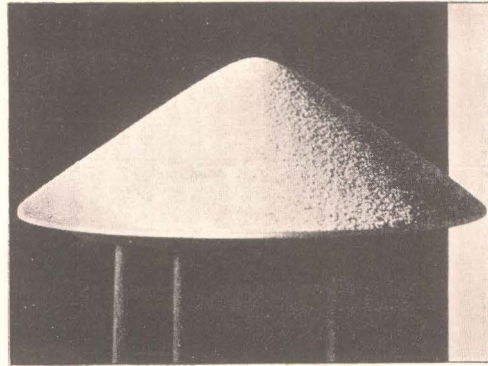


Fig. 1.

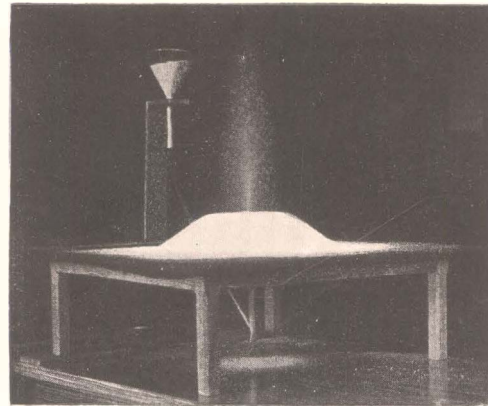


Fig. 2.

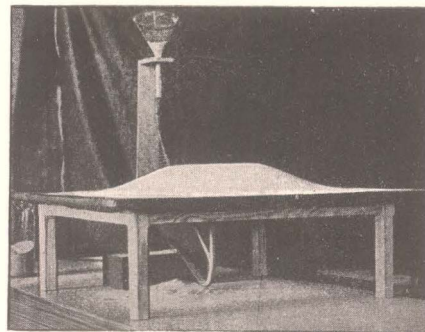


Fig. 3.

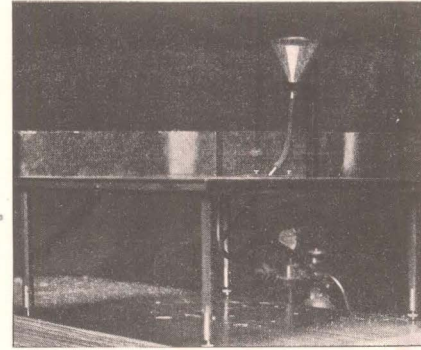


Fig. 4.

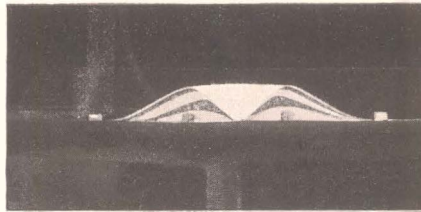


Fig. 5.

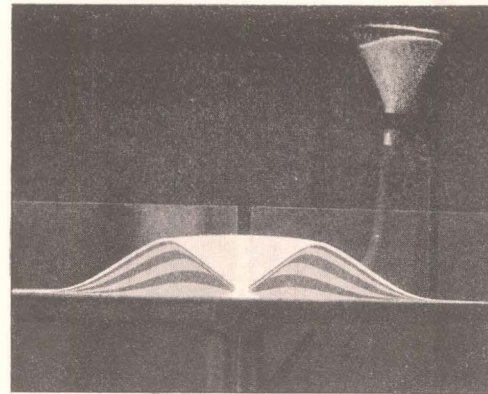


Fig. 6.

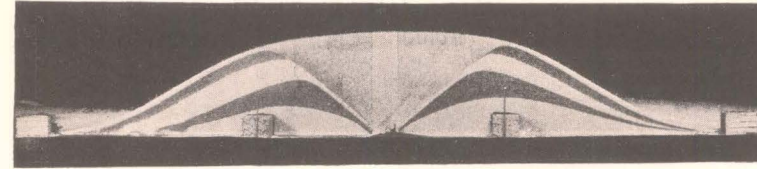


Fig. 7.

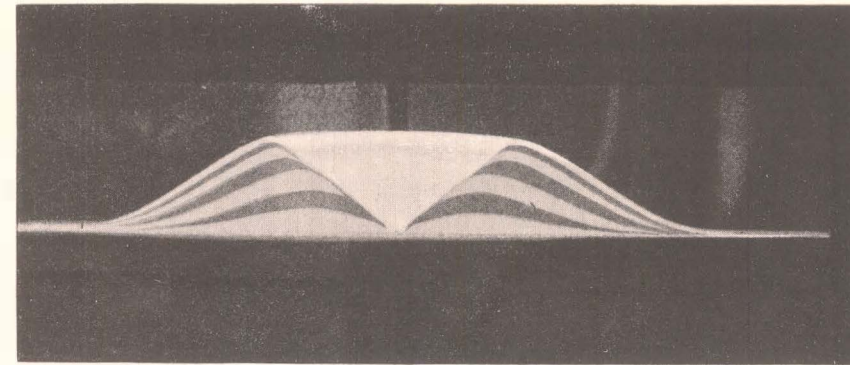


Fig. 8.

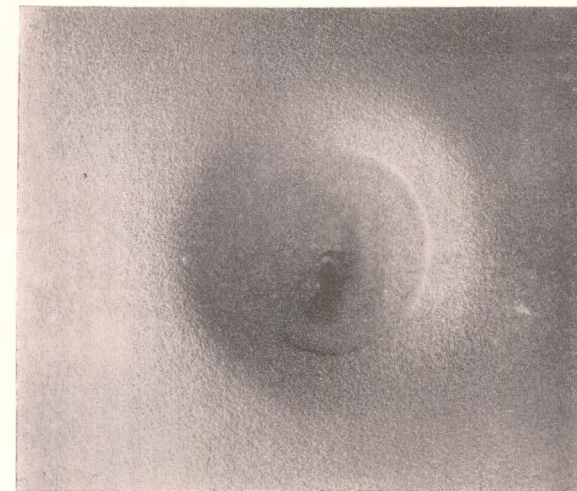


Fig. 9.

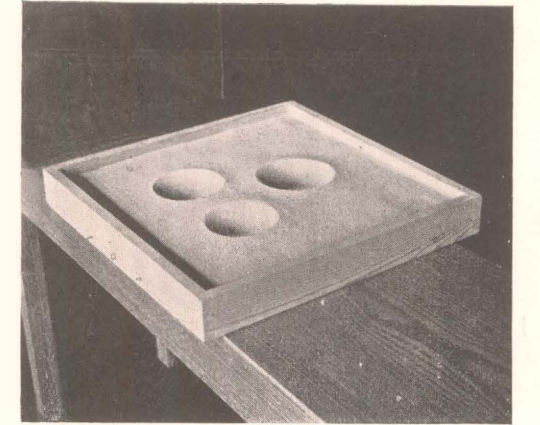


Fig. 10.

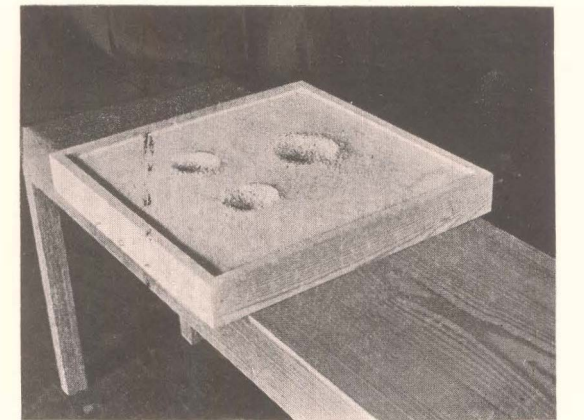


Fig. 11.