universität innsbruck
Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Ueber Vulkanismus

Reusch, Hans

Berlin, 1883

Ueber Vulkanismus

urn:nbn:at:at-ubi:2-4179

Nach der augenblicklichen physikalischen Auffassung bezüglich des Verhältnisses zwischen Wärme und Arbeit können die auf der Erde vor sich gehenden Prozesse in 2 Gruppen gebracht werden: zuerst in solche, zu denen die Wärme von der Sonne geliefert wird, dann aber in solche, zu denen die Wärme von der Erde ausgeht. Da das organische Leben, wie der Kreislauf des Wassers und der Luft, zu der erstgenannten Kategorie gehören, so lenkt diese unsere Aufmerksamkeit in besonderem Grade auf sich, so daß man dieselbe wohl hier und da sogar als die alleinige Wärmequelle dargestellt findet.

Der Geolog wird nicht in diesen Irrthum verfallen, denn er kann nicht übersehen, daß die Erde selbst eine Wärmequelle ist, und daß eine großartige Arbeitsproduction, daß sogar die Bildung ganzer Gebirgsketten der eigenen Erdwärme zugeschrieben werden müssen. Die Form jedoch, unter der uns diese Wärme — oder dieser Arbeitsvorrath — auf die am meisten in die Augen springende Weise entgegentritt, ist der Vulkanismus oder der Ausbruch der eruptiven Massen und die damit im Zusammenhange stehenden Phänomene.

Bei der Betrachtung des Vulkanismus könnte man sich leicht zu dem Versuch verleiten lassen, chronologisch vorgehen zu wollen. Man müßte dann mit dem Ursprung der Erdwärme, mit der Bildungsweise der Erde beginnen und so die Arbeitsformen der Wärme in den verschiedenen Zeiten verfolgen. Dann

müßten wir wahrscheinlich von der bekannten Theorie ausgehen, daß die Substanz der Erde einstmals in Gaszustand existirt hat, darauf sich zu flüssiger Form zusammenzog und jetzt im Begriff steht, sich aus dieser allmählich in die feste umzuwandeln; die vulkanischen Erscheinungen werden dann in dem Verlaufe dieser gewaltigen Concentration ein ganz sekundärer Proceß, der während einer verhältnißmäßig kurzen Zeit auftritt, indem er seinen Anfang nahm, da die Erdoberfläche bis zu einem gewissen Grad abgekühlt war und enden wird, sobald die kalte Kruste eine bedeutende Dicke erreicht haben wird.

Man könnte sich, wie gesagt, zu solchen Speculationen verleiten lassen und dieselben weiter verfolgen, bis wir auch die vulkanische Wirksamkeit unserer Tage in unsere Theorie oder unser System hineingezogen hätten; aber diese Art des Vorgehens würde mit so viel Schwierigkeiten verbunden sein, daß es sicher empfehlenswerther ist, die Methode zu wählen, die für die Naturwissenschaften gerade eigenthümlich ist, nämlich die Sache ganz von der entgegengesetzten Seite anzugreifen; zuerst das Naheliegende zu studiren, das, was für unsere Beobachtungen vollständig zugänglich ist, hier also die vulkanischen Processe, wie sie sich vor unseren Augen abspielen. Von diesem Ausgangspunkt müssen wir weiter zurückgehen und uns somit der Auffassung der Grundursachen zu nähern suchen.

In den 100 Jahren, in welchen ungefähr die Geologie gepflegt worden ist, hat sich ein gewaltiges Material von Beobachtungen, die den Vulkanismus betreffen, angesammelt, und gerade jetzt scheinen die Anschauungen mehrerer bedeutender Forscher wie Dana, Geikie, Mallet, Sueß sich zu einigen[1]). Es scheint deshalb die Hoffnung nicht ganz unbegründet zu sein, daß man bald eine auf Beobachtung begründete Darstellung des

Vulkanismus geben kann, welche die frühere an Correctheit und Vollständigkeit weit übertreffen wird.

Ich will nun in kurzen Umrissen darzustellen suchen, wie es sich nach meiner Anschauung gegenwärtig mit dieser Sache verhält.

Indem ich mich bestreben werde, die inductive Methode zu verfolgen und mit dem Zunächstliegenden beginne, will ich mich zuerst über die vulkanischen Phänomene über der Erdoberfläche, darnach über die vulkanischen Erscheinungen unterhalb derselben, d. h. über deren Herd, verbreiten.

Die vulkanischen Phänomene auf der Erde können in erster Linie an den noch thätigen Vulkanen studirt werden. Die Producte derselben sind, wie bekannt, Lava, Wasserdampf im Verein mit einem Theil andrer gasförmiger Körper, sammt vulkanischen Blöcken und Asche. Lava ist Gesteinsmasse in feurigflüssigem Zustande, deren Temperatur bei dem Hervorbrechen auf ca. 2000° C. geschätzt wird. Wenn dieselbe ausgeflossen ist, so verfestigt sie sich zuerst rasch an der Oberfläche und darnach langsam in dem innern Theil. Schlägt man von einem Stück Lava einen Splitter ab und bereitet daraus einen Dünnschliff, so läßt sich mit Hülfe des Microscopes die Structur des Gesteins ziemlich genau bestimmen. Man sieht, daß das Gestein aus Krystallen besteht, die in einer amorphen, glasartigen Grundmasse gelegen sind, welches Glas den Producten gleicht, die erhalten werden, wenn man ein aus gewöhnlichen Silicaten bestehendes Gestein schmilzt und die Schmelzmasse rasch erkalten läßt. Das Verhältniß zwischen Glas und Krystallen kann sehr verschieden sein. Die Glasmasse kann nahezu verschwinden, sie kann aber auch bedeutender werden, sodaß die Krystalle darin zerstreut umherliegen, ja das Glas kann vorherrschend sein, in welchem Falle man Obsidian oder natürliches Glas erhält.

Die äußeren, rasch erstarrten Lavatheile enthalten mehr Glas als die inneren. Die Erscheinungen, daß die in der Lava auftretenden Krystalle von verschiedener Größe sind, ist sehr allgemein. Einige der Krystalle sind klein und haben sich aller Wahrscheinlichkeit nach in der ausgeflossenen Masse ausgeschieden, andere, von größerer Gestalt, waren dagegen bereits im Erdinnern fertig gebildet und sind von dem ausbrechenden Strom mit fortgerissen worden. Diese größeren Krystalle sind deshalb oft zerbrochen oder an den Kanten geschmolzen. Bisweilen sieht man in letzteren auch microscopische, mit einer Flüssigkeit erfüllte Hohlräume, welche dagegen in der jüngeren Generation der kleineren Krystalle nicht beobachtet werden.

Um die Lavastructur zu illustriren, ist das Bild einer basaltischen Lava, wie es sich unter dem Microscop herausgestellt, beigegeben. Prof. Mohn hatte betreffendes Gestein gelegentlich der norwegischen Nordhavexpedition von der Insel Jan Mayen mitgebracht. In dem Glas, das mit Schwarz wiedergegeben, erblickt man zunächst eine jüngere Generation von kleinen Krystallen, nämlich langgestreckte Feldspathe und rundliche Augite; weiter sieht man eine ältere Generation von größeren Krystallen, bestehend aus Augit, Feldspathen (auf denen die Zwillingsstreifung, wie man sie bei gekreuzten Nicols beobachtet, eingezeichnet ist), Olivin (und ein schwarzes Eisenerz, das in der Figur nicht angegeben ist).

Außer der Lava geben die Vulkane auch gasförmige Körper ab. Der wichtigste derselben ist Wasserdampf, welcher theils mit mehr oder weniger explosionsartiger Heftigkeit aus dem Krater ausströmt und sich zu einer Dampfwolke verdichtet, theils aus dem Lavastrom so lange aufsteigt, bis letzterer erkaltet ist. Man muß sich vorstellen, daß in den glühenden Massen des Erdkernes sich Wasserdampf absorbirt findet. Sobald die Lava

zur Oberfläche und unter geringeren Druck kommt, und in verstärktem Maßstabe, wenn dieselbe erstarrt, scheiden sich dieser und die übrigen gasförmigen Körper ab. Darin spielt sich ein Proceß ab, wie wir ihn bei verschiedenen anderen Substanzen sehen. Ein allgemein bekanntes Beispiel dafür, daß eine Flüssigkeit, die unter einen geringeren Druck gelangt, das absorbirte Gas abgeben kann, bieten die kohlensauren Mineralwässer. Daß

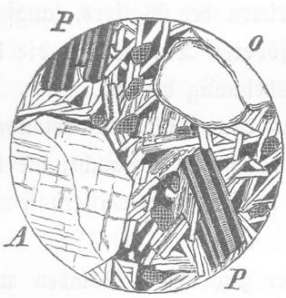

Fig. 1.

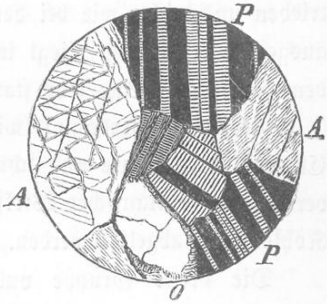

Fig. 2.

Fig. 1. Basaltische Lava. Jan Mayen.

Fig. 2. Olivinführender Gabbro. Bergen, Norwegen.

Die Figuren illustriren den Unterschied zwischen verhältnismäßig schnell abgekühlten vulkanischen und langsam abgekühlten plutonischen Gesteinen.

A ist Augit; P Feldspath (Plagioklas), deren Zwillingsstreifung so gezeichnet ist, wie sie sich zwischen gekreuzten Nicols zeigt; O Olivin. Auf Fig. 1 kommt dazu Glas (schwarz), kleine weiße Feldspathleisten und kleine rundliche, kreuzweis schraffirte Augite.

auch beim Uebergang aus dem flüssigen in den festen Zustand ein derartiges Ausscheiden von Substanzen stattfinden kann, zeigen uns die in dem Eis so häufig vorkommenden Luftblasen, die sich beim Gefrieren ausscheiden. Ein Exempel für ganz den nämlichen Vorgang, der dem in der Lava noch mehr ähnelt, bietet das Silber dar.[2]) Dieses Metall besitzt die Eigenschaft, im geschmolzenen Zustande beträchtliche Mengen Sauerstoff aus der

Luft aufzunehmen und denselben im Augenblick, wo es erstarrt, wieder von sich zu geben. Dies geschieht unter kleinen Explosionen, bei denen Silbertheile unter Geräusch umhergeschleudert werden; man nennt diese Erscheinung das Spratzen des Silbers. Unter gewissen Bedingungen vermag ein Volumen des geschmolzenen Silbers nicht weniger als das 20fache Volumen Sauerstoff zu absorbiren. Der Grund davon, daß alle diese luftförmigen Körper in diesem Fall mit explosionsartiger Heftigkeit ausgetrieben und nicht, wie bei dem Gefrieren des Wassers, langsam ausgeschieden werden, liegt in der höheren Temperatur, die bei dem Freiwerden eine sehr starke Ausdehnung bewirkt.

Neben Wasserdampf wird von den Vulkanen besonders Chlorwasserstoffsäure und schweflige Säure ausgehaucht, die bei verringerter vulkanischer Wirksamkeit von Schwefelwasserstoff und Kohlensäure abgelöst werden.

Die dritte Gruppe vulkanischer Producte, Bomben und Aschen, besteht aus größeren und kleineren Lavatheilen, welche die entweichenden Gase und Dämpfe mit sich in die Luft emporgerissen haben.

In einzelnen Fällen kann ein vulkanischer Ausbruch bloß mit Auswurf von festen Steinen vor sich gehen, ohne daß dabei Lava hervorquillt; dies war z. B. bei dem Ausbruch des Vulkans Askia auf Island im Jahre 1875 der Fall [3]), bei welcher Eruption die Asche bis zu uns nach Norwegen getragen wurde.

Bei anderen Gelegenheiten scheint wieder ausschließlich Lava auszufließen. Man vergleiche dazu Geikie's Beschreibung der Lavawüsten am Snake-River in Idaho.[4])

Von der ausgeflossenen Lava, dem Stein- und Aschenregen, werden um die Krateröffnungen herum die kegelförmigen vulkanischen Berge aufgebaut. In Bezug auf die geographische Ver-

breitung derselben zeigt sich die Eigenthümlichkeit, daß sie in Reihen hinter einander wie Perlen an einer Schnur liegen. Oft ist es der Fall, daß sogar ein einzelner Bergkegel eine Reihe von Kratern aufweist, von denen der eine nach dem andern thätig gewesen ist. So ist unter anderen der Hekla nach Kjerulf's Beschreibung ein Bergrücken, auf dem mehrere Krater gelegen sind.[5]) Durch diese Verhältnisse drängt sich uns die Ueberzeugung auf, daß die Vulkane über Spalten in der Erdkruste liegen. Daß die Krater, wie es oft der Fall ist, doch als ziemlich runde Oeffnungen erscheinen, geht wohl auf eine ähnliche Weise zu, wie die Bildung der in die Gletscher vertikal niedersteigenden cylindrischen Wasserfallöffnungen (Moulins). Wenn ein über einen Gletscher fließender Bach in eine Spalte hinabstürzt, so wird dieselbe an der betreffenden Stelle ausgeweitet, und wenn sich nun auch in Folge der Bewegung des Gletschers die Spalte wieder schließen sollte, so bleibt doch das früher gebildete Loch zurück. In gleicher Weise werden die vulkanischen Ausbruchsmassen, sobald sie sich erst an einer Stelle der Spalte Luft gemacht haben, ihre Bahn durch Losreißen und Schmelzen des Nebengesteines erweitern. Sollte sich nun auch die Spalte wieder schließen oder sollte dieselbe ausgefüllt werden, so wird doch ein mehr oder weniger runder Canal zurückbleiben, der die Oberfläche mit dem Erdinnern verbindet.

Wenn ein wirksamer Krater verstopft wird, so bahnen die unterirdischen Kräfte sich am liebsten in derselben Spalte an einer anderen schwachen Stelle einen Weg. Die Ausbruchsstelle kann auf diese Weise gleichsam in einer bestimmten Linie fortwandern.

Nachdem wir so versucht, uns in Kürze über die Verhältnisse bei thätigen Vulkanen zu orientiren, gehen wir zur Betrachtung der erloschenen über. Das Studium derselben wird

uns in der Erkenntniß des Wesens des Vulkanismus einen bedeutenden Schritt weiter führen. Das Interessanteste bei diesen ist, wenn uns dies auch auf den ersten Blick nicht so scheinen sollte, daß dieselben nicht mehr Vulkane in ihrer Vollständigkeit und Ursprünglichkeit darbieten, sondern daß wir in ihnen nur mehr oder weniger unvollständige Reste von solchen besitzen. Kaum hat nämlich die vulkanische Thätigkeit ihr Ende erreicht, so beginnt das rinnende Wasser seine Wirksamkeit und dieses sucht bekanntlich Alles von der Erdrinde, was über dem Meere hervorragt, zu zerstören und zu beseitigen. Die aufgehäuften Eruptionsprodukte werden von Bächen und Flüssen tiefer und tiefer durchfurcht; mehr und mehr wird davon fortgeschwemmt und mit der Zeit können sogar mächtige Gebirge von der Erdoberfläche verschwinden. Dieser Zerstörungsproceß bringt für den Geologen einen großen Vortheil mit sich; er öffnet ihm das Innere der Vulkane. Letztere werden zerschnitten oder, um uns eines anatomischen Ausdrucks zu bedienen, vor seinen Augen secirt. Wohl kann ein einzelner Mensch die vollständige Section eines Gebirges nicht überwachen, die dazu nöthige Zeit ist allzu groß. Für unsern Zweck ist dies auch gar nicht nothwendig. Der Anatom hat es gleichfalls nicht nöthig, die verschiedenen Organe an ein und demselben Individuum zu studiren. Er kann an dem einen die Haut, an einem andern die darunter liegenden Muskeln, an einem dritten endlich diese oder jene inneren Theile untersuchen. In gleicher Weise bieten die zu Tausenden vorhandenen erloschenen Vulkane dem Geologen Sectionsschnitte zur Untersuchung dar. Einzelne, bei denen die denudirenden Kräfte erst eine kurze Zeit wirkten, zeigen nur einen Schnitt durch die Haut; von diesen finden sich alle Uebergänge zu anderen, die uralt sind und die Eingeweide der Gebirge vollständig bloßgelegt haben, so daß diese in Augenschein

nommen werden können. In einer Beziehung ist der Geolog doch unglücklicher daran als der Anatom; dieser kann sich, wenn er es beabsichtigt, bei der Section eines Individuums von der gegenseitigen Lage der Theile Gewißheit verschaffen, eine Möglichkeit, die für den Geologen nicht vorhanden ist. Der Geolog muß dasselbe Resultat dadurch zu erreichen suchen, daß er zerstreute Observationen, von denen eine jede allein unvollständig ist, mit einander verbindet. Dieser Theil der Geologie ist deshalb von einer gewissen Unsicherheit begleitet und ist zur Zeit noch Gegenstand der Discussion. Dasjenige, was über denselben mitgetheilt werden kann, ist deshalb mehr eine Auffassungsweise, als etwas absolut Feststehendes.

Bisweilen sieht man, daß der innerste Kern von Vulkanen von einer compacten, gleichartigen Masse gebildet wird, die so zu sagen von einem einzelnen Guß hervorgebracht wurde, während der äußere Theil von Lavaströmen und Aschelagen aufgebaut wird. Die Art und Weise, auf welche die inneren Massen entstanden, kann wohl verschieden sein. Eine Erklärungsweise, die nach meiner Meinung die Aufmerksamkeit besonders in Anspruch nehmen muß, ist die, welche Hochstetter aus Anlaß einiger mit künstlichen Vulkanen angestellten Experimente gegeben hat. Wir wollen bei derselben eine kurze Zeit verweilen, um so mehr, da es mir scheint, als ob sie uns auch eine richtige Vorstellung von den wesentlichsten Momenten bei den vulkanischen Ausbrüchen gewährt.[6])

In einer Sodafabrik, die Hochstetter besuchte, reinigte man den als Nebenprodukt gewonnenen Schwefel dadurch, daß man denselben in einem Dampfschmelzapparat unter einem Druck von 2—3 Atmosphären und bei einer Temperatur von 128° C. mit Wasser erhitzte. Den geschmolzenen Schwefel ließ man in Holzformen fließen, in denen sich bald eine Kruste auf demselben

bildete. In letzterer blieben jedoch einzelne offene Stellen, aus welchen während der fortschreitenden Erstarrung des Schwefels einzelne ganz eigenthümliche kleine Ausbrüche stattfanden.

Es zeigte sich nämlich, daß der flüssige Schwefel im Schmelzapparat eine gewisse Menge Wasser in sich aufgenommen hatte, und daß das so gebundene Wasser nach und nach in Form von Wasserdampf frei wurde, während der Schwefel aus der flüssigen Form in die feste überging. Darauf beruhen die Ausbrüche, welche in Manchem den Explosionen gleichen, die stattfinden, wenn das geschmolzene Silber seinen Sauerstoff ausgiebt. Bei einem jeden Ausbruch wird ein Theil der flüssigen Schwefelmasse durch die vorhandene Oeffnung hindurchgepreßt und breitet sich nun auf der festen Kruste so lange aus, bis der Schwefel erstarrt. Nach und nach bildet sich so in Folge der fortgesetzten Eruptionen ein höher und höher werdender Kegel.

Hat derselbe eine gewisse Höhe erreicht, so nimmt die Ausbruchsstelle mehr und mehr die Form eines Kraters an; die Eruptionen werden heftiger, mehr explosionsartig, und der geschmolzene Schwefel fließt in Strömen, förmlichen Lavaströmen, an den Seiten des gebildeten Kegels herab. Unmittelbar nach einem solchen Ausbruche ist der Krater vollkommen leer, und man kann beobachten, wie der Schwefel nach und nach in dem Kraterkanal emporsteigt, wie er endlich das Ende desselben erreicht und dann ausgestoßen wird, indem mit einem Male eine starke Dampfentwicklung auftritt, was sich durch Bildung einer kleinen Rauchwolke zu erkennen giebt. Diese Erscheinungen sind ganz die nämlichen, wie sie von Forschern, welche sich während eines Vulkanausbruches der Ausbruchsstelle genügend weit nähern konnten, beobachtet und beschrieben worden sind. Am Schlusse des Eruptionsprocesses wurde bei den Schwefelvulkanen der Schwefel auch in

Form von Tropfen ausgeworfen, die, ähnlich vulkanischen Bomben, in größerem oder geringerem Abstand vom Ausflußkanal niederfielen. Man kann Ausbrüche zum Schweigen bringen, wenn man in einiger Entfernung vom Kegel in die Kruste ein Loch stößt und auf diese Weise eine neue, tiefer gelegene Eruptionsöffnung erzeugt. Brach man jetzt den alten Vulkan entzwei, so zeigte sich derselbe im Innern hohl, indem ein Theil der Kruste, wie die zuerst ausgeworfenen Massen von Neuem geschmolzen worden waren. Ließ man dagegen die Eruptionen so lange vor sich gehen, bis sie von selbst aufhörten, so erhielt man einen Durchschnitt durch einen vollständig massiven Kegel, indem in diesem Falle der innere Hohlraum zuletzt von festgewordenem Schwefel ausgefüllt worden war.

Hochstetter glaubt nun, daß ähnliche Hohlräume, wie die soeben beschriebenen, auch in den natürlichen Vulkanen existiren. Daß erstarrte Massen von hervordringender Lava wieder geschmolzen werden können, ist nicht so auffallend; man denke daran, daß ein älterer Lavastrom dadurch, daß ein jüngerer über ihn hinwegfließt, an der Oberfläche wieder flüssig werden kann. Die zuletzt den Hohlraum erfüllenden geschmolzenen Steinmassen erstarren langsam, da sie ein verhältnißmäßig bedeutendes Volumen besitzen und im Erdinnern begraben liegen. Man erhält einen massiven Kern, der sich von dem übrigen schichtenweis aufgebauten Theil unterscheidet. Werden nun die äußeren Partien eines Vulkanes entfernt, indem die zerstörend wirkenden Kräfte während langer Zeiträume von ihnen Material fortführen, so behält man einen größeren oder kleineren Theil jenes inneren Kernes, vielleicht mit Resten der Hülle zurück.

Auf diese Weise erklärt man sich, und wahrscheinlich mit voller Berechtigung, die Bildungsweise vieler Basaltkuppen und anderer, mit jenen in der Art des Vorkommens übereinstim-

mender vulkanischer Gesteine. Die im Vorstehenden erläuterte Auffassung von dem inneren Bau der Vulkane muß vielleicht auch auf die sogenannten plutonischen Gesteine, d. h. solche, die ausschließlich aus deutlichen Krystallen zusammengesetzt sind, wie Granit, Syenit, Diorit, Gabbro ꝛc., ausgedehnt werden. Der hauptsächlichste petrographische Unterschied zwischen diesen Gesteinen und den Laven besteht darin, daß erstere keine

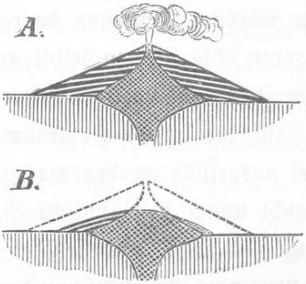

Fig. 3.

A. Ein thätiger Vulkan. Das senkrecht Schraffirte stellt die Erdkruste, auf welche der Vulkan aufgebaut ist, dar. Der Vulkan selbst besteht aus einem inneren Hohlraum, der von flüssiger Gesteinsmasse erfüllt ist, und einem äußeren geschichteten Theil, aufgebaut von Lavaströmen, Stein- und Aschelagen.

B. Ein erloschener Vulkan. Derselbe besteht aus einem massiven Kern und einem Rest von dem äußeren geschichteten Theil. Der ursprüngliche Umfang des Vulkans ist durch punktirte Linien angedeutet.

Glasmasse einschließen. Eine Mittelstellung nehmen die Porphyre ein. Denkt man sich, daß in der durch Fig. 1 veranschaulichten basaltischen Lava das Glas verschwinde, so erhält man eine Grundmasse, die aus kleinen (für das unbewaffnete Auge unsichtbaren) Feldspathen und Augiten besteht, in der größere Individuen von Feldspathen, Augit und Olivin zerstreut umher liegen. Ein solches Gestein muß olivinführender Augitporphyrit genannt werden. Tritt die Menge der Grundmasse

mehr und mehr zurück, so erhält man schließlich eine aus annähernd gleich großen Feldspathen, Augiten, Olivinen bestehende Bergart; diese wird als ein olivinführender Diabas oder, wenn der Augit in der unter dem Namen Diallag bekannten Varietät auftritt, als olivinführender Gabbro bestimmt werden. Ein solches Gestein ist in Fig. 2 zum Vergleich mit der basaltischen Lava abgebildet worden.

Betreffs der Art des Vorkommens zeichnen sich die plutonischen Gesteine vor den vulkanischen dadurch aus, daß sie oft in gewaltigen, gleichförmigen Massiven auftreten. Mehrere derselben hat man in letzter Zeit als die Centralpartien gewaltiger Vulkane deuten wollen. Besonders ist es Judd, der dies als Resultat seiner Studien an den Eruptivgesteinen auf den westlich von Schottland gelegenen Inseln und im Umkreis der altbekannten Bergstadt Schemnitz in Ungarn, hervorgehoben hat.[7]) Wir wollen zur näheren Erklärung dieser Auffassungsweise ein bestimmtes Beispiel, die zu den Hebriden gehörige Insel Mull wählen. Umstehend sind von dieser Insel sowohl eine kleine Kartenskizze, als auch ein von S.W. nach N.O. gehender Querschnitt beigefügt, auf welch' letzterem der Deutlichkeit wegen die Höhe etwas größer genommen wurde, als sie in Wirklichkeit ist.

Dieser Vulkan rührt aus der Tertiärperiode her, und ergiebt sich dessen Geschichte nach Judd kurz folgendermaßen. Zuerst wurde von ziemlich kieselsäurereichem Material ein Vulkankegel aufgebaut, dessen äußerer Theil aus Lavaströmen und Lagen von Auswürflingen besteht (c), während das Innere von Granit und ähnlichen Gesteinen (b) gebildet wird. Im Grunde genommen war die gesammte flüssige Masse, welche zum Ausbruch gelangte, von derselben Art; aber dieselbe erstarrte in der Luft, wo sie sich rasch abkühlte, auf echt vulkanische Weise mit Lavastruktur, während sie in der Tiefe, wo die Abkühlung

langsamer vor sich ging, plutonisch, ohne Glas, auskrystallisirte. Wir müssen uns bei dieser Gelegenheit der merkwürdigen Experimente von Fouqué und Michel-Lévy erinnern, durch welche Gesteine auf künstliche Weise dargestellt wurden. Diese Forscher brachten mehrere plutonische Gesteine dadurch hervor, daß sie die Mineralien, woraus die zu erzielenden Gesteine bestehen, in

Fig. 4.

Der Mull-Vulkan. (Nach Judd).

a Gabbro. — b Granit. — c Ausgeflossene und ausgeworfene Gesteine von granitischer Zusammensetzung. — d Ausgeflossene Gesteine von der Zusammensetzung des Gabbro (Basalt); ausgeworfene Gesteine von derselben Zusammensetzung sind punktirt. — e Gesteine älter als Tertiär.

Pulverform zusammenschmolzen. Ließen sie nun die Schmelzmasse rasch erkalten, so erstarrte dieselbe zu Glas; erhitzten sie die Masse stark und lange und ließen sie nun langsam fest werden, so resultirte ein Gestein mit Lavastructur, bestehend aus Glas mit ausgeschiedenen Krystallen; eine ganz allmähliche Abkühlung endlich brachte ihnen ein völlig krystallinisches, ganz

und gar plutonisch aussehendes Gestein. Hierdurch wurde die Annahme der Geologen, daß die Verschiedenheit zwischen den besprochenen Strukturen wesentlich auf Abkühlungsverhältnissen beruhe, auf das Glänzendste vermittelst des Experimentes bestätigt. Nach dem Ausbruch der kieselsäurereichen Gesteine war der Mull-Vulkan während eines langen Zeitraumes der zerstörenden Thätigkeit der Atmosphäre und des Wassers ausgesetzt, wodurch sich dessen Dimensionen bedeutend reducirten; darnach folgte eine neue Periode des Ausbruches. Jetzt gelangten aber weit kieselsäureärmere Massen als die früheren zur Eruption. Diese erstarrten ebenfalls im inneren Theil des Vulkans zu einem plutonischen Gestein, zu Gabbro (und Dolerit), während die ausgeflossenen oder emporgeschleuderten Eruptionsprodukte in Form von basaltischer Lava und nahestehenden Gesteinen fest wurden. Der so aufgebaute Berg war wahrscheinlicher Weise von der Höhe des Aetna und bestand also in seinem inneren Theil aus Granit, Gabbro und ähnlichen Gesteinen, im äußeren aus verschiedenen Lavaströmen nebst Schichten von Asche u. s. w. Seit jener Zeit ist eine lange Periode der Zerstörung verflossen, durch den Zahn der Zeit ist soviel vernichtet, daß jetzt von dem einstmals stolzen Bauwerke nicht mehr als die Grundmauern übrig geblieben sind. Aber eben diese Zerstörung machte es möglich, daß wir den Vorgang des Baues überwachen konnten; sie gestattete uns einen Einblick in die Kellerräume, wo die plutonischen Massen, die uns sonst verborgen geblieben wären, aufbewahrt sind.

Als Resultat aus dem Vorhergehenden ergiebt sich demnach die Thatsache, daß ein wesentlicher Unterschied zwischen vulkanischen und plutonischen Gesteinen nicht existirt. Dieselben stellen nur Erstarrungsmodificationen dar, indem die zuletzt ge-

nannten im Erdschooße und langsamer als die ersteren fest wurden.

Die Namen derselben sind deshalb nicht unbezeichnend. Wohl dachten sich die Alten, daß Vulkan unter der Erde arbeitete, aber doch nicht tiefer, als daß man den Rauch und die Funken aus seiner Esse sehen konnte, während dagegen Plutos Reich tief in der geheimnißvollen Unterwelt gelegen war.

Diese hier dargelegte Anschauungsweise von dem Verhältniß zwischen vulkanischen und plutonischen Bergarten, von denen sich die letzteren in unzugänglichen Tiefen noch heute bilden werden, hat nur langsam festen Fuß gewonnen. Mehrere der bedeutendsten Forscher sind noch heute Gegner derselben, indem sie meinen, daß die plutonischen Gesteine einem älteren Theil der Entwicklungsgeschichte der Erde angehören, die vulkanischen dagegen ausschließlich der jüngsten Zeit. Es ist aber bemerkenswerth, daß man die Grenze für das Auftreten plutonischer Gesteine weiter und weiter nach der Gegenwart zu hat vorrücken müssen. Es gab eine Zeit, wo man für das wichtigste plutonische Gestein, den Granit, behauptete, derselbe gehöre ausschließlich der archäischen Formation an. Eine der frühesten Fundstellen von Granit, der jünger als versteinerungsführende Schichten ist, liegt in Kristianias nächster Umgebung, und es erweckte diese Entdeckung seiner Zeit das lebhafte Interesse Leopold von Buch's. Später hat man Granit als Durchbruchsgestein auch in jüngeren Formationen gefunden. Daß der Granit so selten mit jüngeren Bergarten zusammen erblickt wird, erklärt sich leicht daraus, daß derselbe in großer Tiefe, von älterem Gebirge umgeben, erstarrt. Wir können nicht erwarten, daß wir derartigen, in unseren Tagen gebildeten Granit auffinden. Dieser wird erst für eine weit spätere Generation

sichtbar werden, nämlich dann, wenn die Denudation das Innere des Gebirges bloßgelegt haben wird.

Aecht vulkanische Gesteine, glashaltige Basalte sind in der neueren Zeit schon aus der Kohlenzeit bekannt geworden.[8])

Mit der Betrachtung der plutonischen Gesteine haben wir zwar, streng genommen, die Oberfläche unseres Planeten verlassen, doch sind wir, wenn wir die gesammte Masse desselben in Betracht ziehen, nur in die alleräußersten Theile der festen Erdkruste eingedrungen.

Wir gehen jetzt zu dem zweiten Theil unsrer Aufgabe über, zur Betrachtung des unterirdischen Vulkanismus d. h. also zu der Beschaffenheit derjenigen Theile des Erdinneren, von denen die eruptiven Massen ihren Ursprung nehmen. Hierbei gilt es, die Ursache zu den auf der Erdoberfläche vor sich gehenden vulkanischen Prozessen nachzuweisen, eine Frage, die mit viel Scharfsinn zu lösen versucht worden ist. Gewöhnlich ist man dabei so zu Werke gegangen, daß man das herauszufinden suchte, was man bei den vulkanischen Eruptionen für das Wesentliche hielt, die Temperatur der Lava, den Wassergehalt derselben ꝛc. Dies suchte man mit dem, was uns von der Erde im Allgemeinen bekannt ist, wie die Zunahme der Temperatur nach dem Inneren zu ꝛc. zu verbinden. Aus diesen Materialien baute man Theorien auf, die jedoch sehr verschiedenartig ausfielen, da ein Forscher diesen Umstand, ein anderer jenen für das Wesentlichste hielt. Insbesondere legten viele Gewicht darauf, daß die Vulkane in Reihen längs der Meeresküsten gelegen sind und daß ein wesentlicher Theil des Eruptionsmateriales aus Wasserdampf im Verein mit verschiedenen anderen Substanzen besteht, die mit gewisser Wahrscheinlichkeit von den Bestandtheilen des Meeres herrühren. Darauf basirt die Ansicht, daß das Meerwasser auf Spalten in das Erdinnere bis

zu dem gluthflüssigen Kern eindrang, daselbst in Dampf überging, und daß dieser durch seinen Druck die Eruptionen bewirkte. Andere Gelehrte, unter denen sich der bekannte Erdbebenkenner Mallet befindet, legten ein Hauptgewicht darauf, daß die Vulkane mit den bei dem Zusammensinken der Erdkruste hervorgebrachten Erdbeben in Verbindung stehen müßten. Sie nehmen an, daß die bei dem Einsinken erzeugte Wärme bedeutend genug ist, gewisse Theile der Erdkruste zu schmelzen. So erklärt diese Theorie das Hervordringen der Eruptivgesteine.

Es wäre natürlich von hohem Interesse, auf diese verschiedenen Anschauungen näher einzugehen und zu versuchen, bezüglich ihres gegenseitigen Werthes ein Resultat zu gewinnen, doch scheint es mir fast ebenso dankbar, eine andere Methode einzuschlagen; nämlich nicht darnach zu fragen, wie die Partien des Erdinneren, denen die vulkanischen Phänomene ihren Ursprung verdanken, beschaffen sein könnten, sondern das Hauptgewicht auf die Untersuchung der Localitäten zu legen, die einmal tief im Schooße der Erde begraben gewesen, die aber heute in Folge späterer geologischer Prozesse vor unseren Augen bloßgelegt worden sind. Es könnte sich vielleicht herausstellen, daß der Herd des Vulkanismus doch nicht so gänzlich unzugänglich ist, wie dies gewöhnlich angenommen wird. Dieses directe Studium der tiefer gelegenen Theile der Erdkruste ist ziemlich schwierig, besonders deshalb, weil die hier in Rede kommenden Gesteine zum größten Theil bedeutenden Veränderungen unterlegen gewesen sind. Jetzt jedoch, da man die Resultate der mannigfachen Detailuntersuchungen zu sammeln beginnt, hat es den Anschein, als ob die von den verschiedenen auf diesem Gebiet thätigen Forschern vertretenen Meinungen sich in einer gemeinsamen Anschauung vereinigen wollten. Bevor ich mich zu derselben speciell wende, muß ich zwei wichtige, in Verbindung mit unserem Ge-

genstand stehende, geologische Prozesse besprechen, nämlich die Faltung der Erdkruste und den Metamorphismus.

In Betreff des ersteren, der Faltung, hat es sich nämlich gezeigt, daß mächtige Gebirgsketten, z. B. die Pyrenäen, die Alpenkette, das Himalayagebirge u. a. m. aus stark gefalteten Schichten aufgebaut sind. Hinsichtlich der amerikanischen Gebirgssysteme hat dies besonders Dana hervorgehoben, während Sueß und nach ihm Heim dasselbe für die Alpen gethan haben. Für Norwegen hat Prof. Kjerulf schon vor längerer Zeit nachgewiesen, welch' bedeutungsvolle Rolle die Faltung im Aufbau der Gebirge spielt.

Als Grund zu dem Faltungsproceß nimmt man die Abkühlung der Erde an, indem man sich vorstellt, daß diese Abkühlung von einer allgemeinen Contraction, in Sonderheit der inneren Theile, begleitet wird. Damit nun die Kruste sich dem beständig schwindenden Kern anpassen kann, wird dieselbe gezwungen, sich bei diesem Abkühlungsproceß in Falten zu legen. Einige Forscher denken sich, daß dieses Zusammenrunzeln besonders längs der Conturen der großen Continente vor sich gehe, indem sie annehmen, daß sowohl diese, wie der Grund der Weltmeere feste Schollen seien. Dieselben sind an den Partien, an denen sie an einander stoßen, verhältnißmäßig schwach und geben den die Faltung hervorbringenden Druckkräften nach. Als Beispiel für eine Bergkette längs des Randes eines Festlandes führt man vornehmlich die Anden an.

Die Faltung kann bisweilen sehr stark sein. In den Alpen, welche in dieser Beziehung in Europa am genauesten untersucht sind, kann man mehrere Stellen sehen, wo zwischen sehr jungen Formationen Theile der archäischen Formation (Grundgebirge), nämlich Glimmerschiefer, Hornblendeschiefer und vor Allem Gneiß, hervorgepreßt worden sind. Es sind dies die so viel

besprochenen Centralmassive der Alpen. Als Beispiel für stark gefaltete Schichten ist in Fig. 5 ein Profil aus den Alpen nach Heim abgebildet, für welches man sich vorstellen muß, daß die Falten einstmals vollständig gewesen sind, wie dies durch die punktirten Linien angedeutet ist. Die weißen Partien stellen die krystallinischen Schiefer dar. Zur Rechten hat man das Centralmassiv von Finsteraar, innerhalb welchem bei x durch Faltung einige Partien von jüngeren noch nicht ganz sicher bestimmten Schichten zu liegen gekommen sind. Das Schwarze ist Trias,

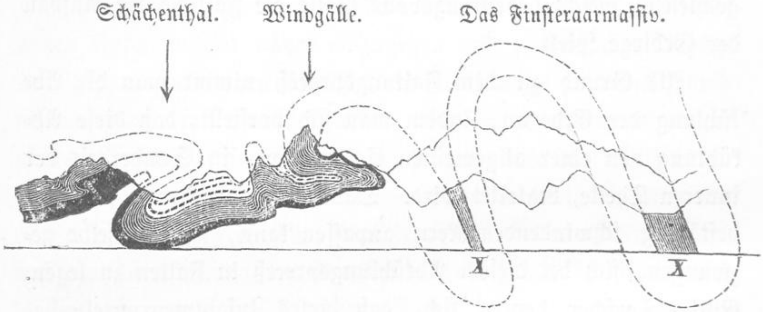

Fig. 5.
Profil durch einen Theil der Alpen (nach Heim).

Lias und brauner Jura, das Dunkle mit weißen Linien oberer Jura, der gestrichelte Theil endlich Eocaen.

Durch die gewaltigen, bei der Faltung thätig gewesenen Druckkräfte sind die Gesteine oft einer inneren Formveränderung unterworfen worden, die sich in erster Linie deutlich durch das verzerrte Aussehen der Fossilien und durch die veränderte Form von Fragmenten in gewissen Conglomeraten kund giebt. Es hat den Anschein, als ob die Gesteine unter hinreichend starkem Drucke plastisch würden, sich in ihren Eigenschaften den flüssigen Substanzen näherten. Neben dem Drucke können wir uns als mitwirkendes Agens die erhöhte Temperatur, welche die Gesteine

in Folge der bei der Faltungsarbeit entwickelten Wärme erlangen, vorstellen und zum Theil auch den Umstand, daß die Gesteine von ihrer ursprünglichen Lagerstätte tiefer in das Erdinnere gezogen wurden.

Wir gehen nun dazu über, einen Blick auf die Erscheinungen zu werfen, welche unter dem Namen Metamorphismus zusammengefaßt worden sind. Da zeigt sich uns zuerst der über weite Strecken ausgedehnte Methamorphismus, der sog. regionale, den wir an mehreren Orten bei gefalteten Schichtsystemen, die tief im Erdinnern begraben waren, beobachten. Hier haben Krystallisationskräfte in den Gesteinen gewirkt, durch welche letztere verändert, metamorphosirt worden sind. Die klastische Natur ist in den Hintergrund getreten, um von einer mehr oder weniger deutlichen krystallinischen ersetzt zu werden. Auf diese Weise sind Gesteine wie z. B. einige Glimmerschiefer und Gneiße hervorgegangen, von denen man eher glauben sollte, daß man in ihnen ein Glied der archäischen Formation, und nicht ein solches von jüngeren Schichten vor sich habe. Diese Verwandlung ist wohl weniger auffallend, wenn man sich vergegenwärtigt, daß die jüngeren klastischen Gesteine zum größten Theil aus Mineralien aufgebaut worden sind, die in letzter Instanz von den krystallinischen Schiefern herrühren. Der Metamorphismus wird so wohl in vielen Fällen zu einem einfachen Zurückkehren zur ursprünglichen Krystallinität.

Es wurde an einer früheren Stelle erläutert, auf welche Weise Fouquet und Michel-Lévy aus pulverisirten Mineralien krystallinische Gesteine dargestellt haben; in Verbindung damit muß gleichfalls erwähnt werden, daß Spring gezeigt hat, wie man vermittelst starken Druckes verschiedene in Form von Bruchstücken vorhandene Körper in zusammenhängende krystallinische Massen überführen kann. So stellte er durch einen Druck von

5000 Atmosphären aus braunem Pulver von Mangansuperoxyd einen schwarzen Block von Pyrolusit dar. Weiter hat derselbe Forscher nachgewiesen, daß gewisse chemische Verbindungen vermittelst hohen Druckes hervorgebracht werden. So wurde ein Gemenge von Kupferfeilspähnen und grobem Schwefelpulver bei obengenanntem Drucke zu schwarzem krystallinischen Kupferglanz.[9]) Spring deutet an, daß man diese Resultate bei Erklärung des Metamorphismus verwerthen könne.

Neben dem Regionalmetamorphismus besteht eine zweite Art von Umwandlung, der Grenz- oder Contactmetamorphismus. Man versteht darunter die Veränderungen, welche Gesteine im Contact mit Eruptivgesteinen erlitten haben, welche durch sie hindurchbrachen. Diese Veränderungen bestehen zum großen Theil darin, daß die Umgebung der eruptiven Gesteine eine Structur annimmt, die sich der Textur des Eruptivgesteins selbst nähert; natürlich hat das Gesagte nur für die Fälle Geltung, in denen das betreffende Gestein eine ähnliche chemische Zusammensetzung besitzt. Wie wir oben sahen, zeichnen sich die vulkanischen Gesteine durch ihre Glasbasis aus; damit übereinstimmend zeigt es sich oft, daß die durch sie veränderten Gesteine zu einem Glas geschmolzen sind, oder daß da, wo es nicht soweit kam, die Verglasung doch durch ein beginnendes Zusammensintern eingeleitet worden ist. Die rein krystallinischen plutonischen Gesteine zeigen dagegen die Tendenz, eine entsprechende rein krystallinische Structur hervorzubringen, bisweilen sogar, wenn die nothwendigen Substanzen vorhanden sind, mit Erzeugung von Mineralien, die den eigenen verwandt sind, z. B. Feldspath und Glimmer. Diese Annäherungen zwischen den die Veränderung bewirkenden und den veränderten Gesteinen entsprechen im Grunde nur unseren Erwartungen; denn die Ursache des Metamorphismus besteht ja gerade darin, daß das an eine eruptive

Bergart grenzende Gestein eine Temperatur erlangt, welche der Temperatur des Eruptivgesteines selbst annähernd gleich kommt, und daß sie, wie das Eruptivgestein, von heißem Wasser durchzogen ist. Da beide außerdem unter gleichem Drucke stehen, so sind mehrere wichtige Bedingungen zur Bildung derselben Mineralien vorhanden.

Wenn man die metamorphischen Erscheinungen nur in ihrer Gesammtheit ins Auge faßt und ausschließlich auf das Wesentliche Rücksicht nimmt, so scheint die Aufstellung einer Scala mit zunehmender Krystallinität möglich zu sein. Die Scala müßte von den oft unbedeutenden Veränderungen ausgehen, die in der Nähe der vulkanischen Gesteine erblickt werden und die, wie bereits erwähnt, zum Theil nur in einer Verglasung bestehen, Die nächste Stufe nach unten würde von den tiefer eingreifenden Veränderungen durch die plutonischen Gesteine eingenommen werden, auf der folgenden Stufe würden die regional-metamorphischen Phänomene stehen. Diese Reihenfolge muß nicht so aufgefaßt werden, als ob dieselbe ohne Ausnahme wäre; besonders giebt es wohl viele regional-metamorphosirte Gegenden, — diese Bezeichnung in etwas weitgehender Bedeutung angewendet — die weit geringeren Veränderungen unterworfen gewesen sind, als verschiedene durch Contactmetamorphose veränderte; aber andererseits geht der regionale Metamorphismus sicher viel weiter.

Es scheint, daß die Veränderungen in um so größerer Tiefe vor sich gegangen sind, je weiter man auf der Scala hinabgeht. Was die contactmetamorphischen Erscheinungen betrifft, so geht dies aus dem oben Angeführten hervor. Wir haben gesehen, daß die vulkanischen Gesteine auf der Oberfläche der Erde, oder jedenfalls derselben näher als die plutonischen, gebildet worden sind. Daß der mehr entwickelte Regional-Metamorphismus in einer beträchtlichen Tiefe stattgefunden haben muß, kann

man daraus schließen, daß die Gesteine während des Faltungsprocesses plastisch gewesen sind. In Bezug auf diesen Schluß ist es gleichgültig, ob man sich als Ursache für das Plastischwerden den starken Druck von gewaltigen auflagernden Massen vorstellt, oder ob man sich dasselbe vornehmlich durch hohe Temperatur hervorgebracht denkt; eine solche würde für eine große Strecke nur in bedeutender Erdtiefe vorauszusetzen sein. Auch der Zeitraum, während dessen die metamorphischen Processe vor sich gingen, und das Terrain, über das sie sich verbreiteten, scheinen um so größer gewesen zu sein, je tiefer man auf der Stufenfolge geht. Die vulkanischen Gesteine treten in geringeren Massen zwischen kalten Umgebungen auf und nehmen deren Temperatur sehr bald an. Die Einwirkung auf das Nebengestein kann deshalb bisweilen nur auf Strecken von einigen Centimetern oder Millimetern verfolgt werden. Die plutonischen Gesteine hingegen treten in größeren Massen und tiefer in der Erdkruste auf; die begleitenden Veränderungen können sich deshalb bis auf ein oder mehrere Kilometer erstrecken. Die regional-metamorphischen Erscheinungen sind über weite Strecken ausgebreitet und haben sich in Erdschichten abgespielt, deren Temperatur sich wahrscheinlich nur sehr allmählich verändert.

Nach diesem Blick auf den Faltungsproceß der Erdrinde und den Metamorphismus kehren wir wieder zum Vulkanismus selbst zurück. Es existirt eine Verbindung zwischen den plutonischen Gesteinen einer- und dem Grundgebirge sammt den regional-metamorphosirten Schiefern andererseits, gleichwie wir sahen, daß ein solcher Zusammenhang zwischen den plutonischen und den vulkanischen Gesteinen vorhanden war. Diese Verbindung kann nach zwei Richtungen hin nachgewiesen werden, einmal durch die mineralogische Constitution der Gesteine, das andere Mal durch die Art und Weise, wie dieselben vorkommen.

Was das Erstere betrifft, so muß zuerst die Uebereinstimmung hervorgehoben werden, die zwischen den krystallinischen Schiefern und den plutonischen Gesteinen z. B. zwischen granitähnlichem Gneiß und echtem, eruptivem Granit existirt. Die Gleichheit erstreckt sich sogar auf mikroskopische Details, wie Flüssigkeitseinschlüsse ꝛc. Aber wir müssen auch auf die Uebereinstimmung hinweisen, welche zwischen Gesteinen, die von plutonischen Massen verändert, und solchen, die regional metamorphosirt sind, besteht. Aus dieser Uebereinstimmung in der Beschaffenheit muß man schließen, daß die Gesteine, wie wir sie nun vor uns haben, in beiden Fällen unter annähernd gleichen Bedingungen entstanden sind. Diese Bedingungen sind, wie bereits hervorgehoben, für die contact-metamorphosirten Gesteine Temperatur, Druck, Wassergehalt ꝛc., die sich denen der Eruptivgesteine näherten, gewesen; wir dürfen darnach auch den nicht unwichtigen Schluß ziehen, daß die regional-metamorphosirten Gesteine in diesen Beziehungen gleichfalls eine Annäherung an die Eruptivgesteine gezeigt haben; ja dieselben sind wohl zum Theil zu mindestens ebenso hoher, ja höherer Temperatur erhitzt gewesen und haben unter gleich großem oder größerem Druck gestanden u. s. w.; sind ja die in ihnen vorgegangenen Veränderungen oft größer als bei den contact-metamorphosirten. Auch in der Art des Vorkommens zeigen die krystallinischen und die regional-metamorphosirten Schiefer oft Annäherung an die Eruptivgesteine. Wir wollen dies an einigen Beispielen erläutern. In dem Massiv von Finsteraar in den Alpen tritt Gneiß im Verein mit jüngeren Formationsgliedern, nämlich Kalkstein aus dem Malm oder dem jüngeren Jura, auf. Studer betrachtete den Gneiß nach einigem Zweifel für eruptiv, als auf Spalten hervorgepreßt. Spätere Untersuchungen von Baltzer[10]) haben dargethan, daß die eigenthümliche Weise, in der Gneiß und Kalkstein an einander grenzen, indem nämlich ersterer bisweilen

Ausläufer in den Kalkstein schickt, daher rührt, daß die Gesteine in plastischem Zustande stark gefaltet wurden. Der Gneiß nimmt in den erwähnten Ausläufern und an der Grenze mit dem Kalkstein oft ein granitartiges Aussehen an. Als Beispiel für eine Lokalität, wo der Gneiß die innigste Annäherung an ein Eruptivgestein gewinnt, sei hier ein Profil von Gstellihorn angegeben.

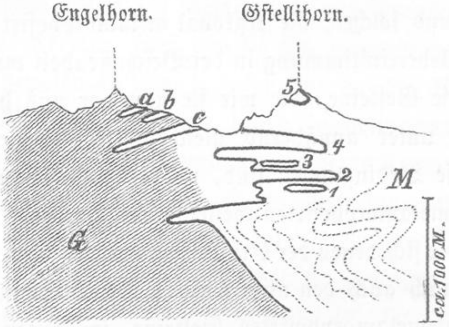

Fig. 6.

Keilförmiges gegenseitiges Ineinandergreifen von Gneiß und Kalk am Gstellihorn im Berner-Oberland. (Nach A. Baltzer).

Zur Linken hat man Gneiß (G), dessen Lagerung, soweit sie sichtbar ist, durch Schraffiren angedeutet ist; zur Rechten Malm (M Jura), dessen Lagerung punktirte Linien andeuten.

Fünf von den mehr bedeutenden fingerförmigen Gneißkeilen sind durch Zahlen bezeichnet. 1, 3 und 5 liegen jetzt vom übrigen Gneiß isolirt.

a, b und c markiren drei Malmfetzen, die vom Gneiße umgeben sind.

Einen anderen Fall, in dem krystallinische Schiefer wie ein Eruptivgestein auftreten, haben wir in dem sächsischen Granulitgebiet. Dasselbe stellt sich als ein Ellipsoid von Granulit (mit etwas Gneiß, Gabbro, Serpentin ꝛc.) umgeben von einem Mantel, hauptsächlich aus Glimmerschiefer bestehend, dar; um diesen zieht sich eine andere Zone, in der besonders Phyllit vorherrscht. Naumann hielt den Granulit für eruptiv und fand eine Stütze seiner Ansicht in der eigenthümlichen Weise, auf

welche der Granulit an einzelnen Stellen in die umgebenden Gesteine eingreift. Weiter wies Naumann darauf hin, daß die zunächst anliegende Zone einen metamorphosirten Character trägt und nicht geringe Uebereinstimmung mit mehreren Gesteinen zeigt, die unzweifelhaft eruptiven Granit umschließen. Credner, der genaue Detailkarten über das Granulitgebiet herausgegeben hat, zeigte später, daß der Granulit zweifellos ein geschichtetes Gestein ist. Kürzlich hat J. Lehmann endlich dargelegt, daß der Granulit unter starkem Drucke gepreßt worden ist. Er nennt einen Theil der Gesteine „eruptiv" und nähert sich so wieder der alten Naumann'schen Auffassungsweise.[11])

Als weiteres Beispiel könnten wir auch die von Dana beschriebenen eigenthümlichen geologischen Verhältnisse in Westchester County am Hudson[12]) anführen. Wir haben übrigens nicht nöthig, unser eigenes Land zu verlassen, wenn wir die im Erdinnern vor sich gehenden Prozesse studiren wollen. In Norwegen liegen das Grundgebirge und regional-metamorphosirte Schichten in einem großartigen Maßstabe zu Tage, wie kaum an anderen Localitäten in Europa; ferner besitzen wir größere und kleinere Eruptivmassive von verschiedenem Alter, Granite, Syenite, Diorite, Gabbros ꝛc. in Menge. Des Weiteren haben wir zum Vergleich unsere außerordentlich lehrreichen Contactzonen um die bei uns sog. jüngeren Granite und Syenite im W. und N. vom Kristianiafjord, die von Kjerulf und in neuester Zeit mikroscopisch von Brögger untersucht wurden.

Was die uns zunächst interessirenden Verhältnisse betrifft, so haben Dahl und Kjerulf schon vor langer Zeit die nahe Verwandtschaft unserer Gneißgranite mit den echten Graniten hervorgehoben. In einer meiner Arbeiten[13]) habe ich angedeutet, daß die übereinstimmende Gangbildung in beiden Gesteinen auf ein Gleiches hindeutet. An derselben Stelle habe ich auch Bei-

spiele dafür zu erbringen gesucht, daß geschichtete, bei ihrer Faltung plastisch gewesene Gesteine gleich Eruptivgesteinen Ausläufer in das Nebengestein ausschickten.

Ueberblicken wir nun im Zusammenhange die vulkanischen Phänomene, die Faltung und den Metamorphismus, so können dieselben in eine gemeinsame Betrachtungsweise vereint werden. Diese Betrachtungsweise ist, wie schon früher betont, im Wesentlichen von verschiedenen, besonders englischen Forschern, hervorgehoben. Sie hat aber nach meiner Ansicht noch nicht die gebührende Würdigung gefunden.

Die Triebfeder in dem ganzen Mechanismus, wenn man diesen Ausdruck anwenden darf, ist die schwindende Größe der Erdkugel, deren Contraction, wodurch die Rinde gezwungen wird, sich in Falten zu legen. Hierbei wird das Grundgebirge und die regional-metamorphosirten Gesteine local in erhitztem Zustande vom Erdinneren zu einem höheren Niveau getrieben, als ihre ursprüngliche Lagerstätte war, während durch die Faltung diese Gesteine zugleich noch höher erhitzt werden. Die Bildung von Spalten, durch welche die Erdrinde in Stücke zertheilt wird, begleitet die Faltung. Durch dieselben erhalten die von comprimirten Dämpfen und Gasen erfüllten, bis und über Schmelztemperatur erhitzten Massen Ausgang. Diese Massen werden sowohl von Gesteinen der archäischen Formation, deren Bildungsweise hierbei außer Betracht bleiben kann, als wohl auch von regional-metamorphosirten Schichten, deren ursprüngliche Beschaffenheit während des Erhitzens (Diffusion) verloren gegangen, ausgemacht.

Ich halte es deshalb für möglich, daß auch in der festen Erdrinde, ähnlich der Wassercirculation (zwischen der flüssigen und gasförmigen Aggregationsform) auf der Erdoberfläche, eine jedoch ungleich langsamere Circulation vor sich gehen kann.

Ein gegenwärtiger Lavastrom kann also zusammengesetzt sein aus Geröllen, die einst in Flüssen abgerundet, darauf tief unter jüngere Ablagerungen begraben und später beim Faltungsproceß zur Schmelztemperatur erhitzt wurden. Ein ähnliches Schicksal können auf der anderen Seite in Zukunft einmal die Gerölle erleiden, welche heute in einem Fluß sich abschleifen oder am Strande umhergerollt werden.

Man darf sich schwerlich vorstellen, daß die Spalten, auf welchen die Eruptivgesteine hervorgedrungen, gebildet wurden, während noch der gewaltigste faltenbildende Druck vorhanden war. Wurde dieser aber geringer, so konnten Risse durch Verwerfungen und durch Wasser erweitert werden. (Viele Geologen nehmen an, daß das Entstehen von Vulkanen durch warme Quellen eingeleitet werde.) Das, was die geschmolzenen Massen hervortreibt, ist doch wieder wesentlich der Druck, welchen die abgekühlte Erdrinde ausübt, indem sie nach dem beständig abnehmenden Erdinnern hin zusammensinkt. Das Zusammensinken muß man sich am besten ganz stufenweise erfolgend denken, bald an dieser, bald an jener Stelle ein wenig; die sogen. geotectonischen Erdbeben sind eine begleitende Erscheinung.

Die durchaus schematisch ausgeführte Fig. 7 hat den Zweck, zu veranschaulichen, auf welche Weise man sich vielleicht die Verhältnisse im Innern der Erde vorzustellen hat. Sie zeigt eine gefaltete Partie der Erdkruste, die sich auf der rechten Seite in Gebirgen erhebt, während sie übrigens von einer jüngeren (schwarz gezeichneten) Formation bedeckt ist.

Die mittelste der 3 Falten ist mehr als die übrigen in die Höhe geschossen; eine Faltenverwerfung in derselben ist zu einem Canal für die hervorbrechenden Eruptivgesteine geworden, welch' letztere von den punktirten Schichten ausgehen; diese Schicht hat

zur linken Hand einen Ausläufer ausgesandt, der jedoch nicht bis in die oberen, kälteren Theile der Erdkruste gelangt ist.

An dieser Stelle sei übrigens noch daran erinnert, daß die Eruptivgesteine wegen der stetigen Verdickung der Erdrinde ganz wahrscheinlich in den früheren Perioden von geringeren Tiefen als heute ausgingen. Gewisse Verschiedenheiten im Habitus der älteren und jüngeren Eruptivgesteine lassen sich etwa hieraus erklären. Es bedurfte aus demselben Grunde eines geringeren Grades von Denudation, um die vulkanischen Herdstellen jener älteren Zeiten bloßzulegen, als es für die jetzigen erforderlich sein wird.

Ein Vortheil der in den vorausgehenden Zeilen vertretenen

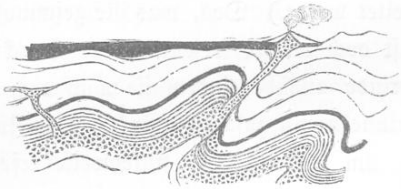

Fig. 7.
Hypothetischer Schnitt durch die Erdrinde.

Betrachtungsweise, nach der also der Herd der Vulkane in den unter einander verschiedenen, geschichteten Gebirgsmassen liegt, besteht darin, daß man darnach ohne Schwierigkeiten verstehen kann, wie ein Vulkan in verschiedenen Perioden Materialien von ziemlich abweichendem chemischen Inhalt auszuwerfen im Stande ist. Diese Erscheinung ist ja sonst etwas räthselhaft.

Ein zweiter Vortheil, den unsere Theorie in sich birgt, liegt darin, daß die Richtigkeit derselben controlirt und deren Inhalt immerfort durch directe Beobachtungen vermehrt werden kann.

Wir haben ja mannigfache Schnitte durch die Erdrinde in größerer oder geringerer Tiefe vor uns.

Es ist überhaupt an der Zeit, daß es nicht mehr in demselben Grade wie früher den räsonirenden Physikern überlassen wird, die Frage von der Ursache des Vulkanismus zu beantworten. Das Problem ist naturhistorisch und muß in erster Linie von den beobachtenden Naturhistorikern, in diesem Falle also den Geologen, behandelt werden.

Damit sei diese Darstellung des Vulkanismus abgeschlossen. Es erübrigt noch darauf hinzuweisen, daß ich mit den auf der Erde auftretenden vulkanischen Erscheinungen mein Thema nicht in seinem ganzen Umfange behandelt habe. Vulkanismus kommt nämlich nicht ausschließlich unserem Planet zu; derselbe ist ein kosmisches Phänomen.[14]) In den Meteorsteinen kann man nach Tschermak's Auffassung direct vulkanische Produkte aus dem Weltenraum studiren. Die bekannten Vulkane auf dem Monde dürfen nicht vergessen werden. Die gewaltigen Eruptionen auf der Sonne müssen gleichfalls zu dem Vulkanismus gerechnet werden, obgleich das von unseren verschwindend kleinen vulkanischen Gebirgen hergeleitete Wort hier nicht besonders passend erscheint. Der Vulkanismus wird so, in seiner weitesten Bedeutung genommen, zu einer Phase in der nach den astronomischen Theorien nicht nur auf unserer Erde, sondern im gesammten Sonnensystem vor sich gehenden Concentration der Materie; derselbe beginnt, sobald die Zusammenziehung einen gewissen Grad erreicht und endet, wenn sie ein gewisses Maß überschritten hat. Die Sonne zeigt vielleicht ein Bild von beginnendem, der Mond ein solches von erloschenem oder erlöschendem Vulkanismus.