

Neue Gesichtspunkte der Geologie

Antrittsrede

als Professor der Geologie an der Universität Zürich

von

Dr. H. Schardt

Separatabdruck aus „Mittellungen der Natur-
wissenschaftlichen Gesellschaft in Winterthur“
:: 9. Heft — Jahrgang 1911 und 1912 ::



Winterthur
Buchdruckerei Geschwister Ziegler
1912

Neue Gesichtspunkte der Geologie.

Antrittsrede als Professor der Geologie an der Universität Zürich
von Dr. H. Schardt.

Während die exakten Wissenschaften den Vorzug haben, daß die in ihrem Gebiete geleisteten Arbeiten einen bleibenden Wert besitzen, so sehen wir in der Entwicklung unserer Kenntnisse im Bereiche der Naturwissenschaften eine Reihe von Umwandlungen, welche oftmals fast plötzlich und in sehr weitgehendem Maße zur Geltung gelangen. Ich erinnere hier nur an den Umstand, daß vor wenigen Jahren die Schweizerische Naturforschende Gesellschaft es übernommen hat, die sämtlichen Werke des Basler Mathematikers Leonhard Euler in vierzig Bänden neu herauszugeben, was einen Geldaufwand von einer viertel Million erfordert. Es ist kaum anzunehmen, daß diese Ehre den Werken eines Naturforschers aus einem vergangenen Jahrhundert widerfahren werde, ohne daß der persönlichen Verehrung desselben dabei ein größeres Gewicht zufalle, als der Absicht, dessen Werke dem Fortschritte der Wissenschaft wieder zu Nutzen zu machen. Ältere naturwissenschaftliche Arbeiten sind zumeist durch neuere überholt worden; die darin ausgesprochenen Ansichten sind verworfen und durch neue ersetzt, ja sogar die Methoden der Forschung und die Deutung der Beobachtung sind andere. Die Geologie, welche ich hier zu vertreten die Ehre habe, ist dieser Gefahr mehr denn irgend eine andere Wissenschaft ausgesetzt. Ihr Beobachtungsfeld ist auf eine unbedeutende Dicke der Erdkruste beschränkt. Aus den gemachten Beobachtungen sollen Schlüsse gezogen werden über den Bau der ganzen Erdkruste, über die Zusammensetzung des Erdinnern, über dessen Wärmeverhältnisse und die damit

verknüpften Erscheinungen. Die gewonnenen Schlüsse sollen dazu dienen, die Geschichte der Erde und die Verkettung aller der dabei im Spiele gewesenen Erscheinungen während der Aufeinanderfolge der geologischen Zeitalter zusammenzustellen. Daß die in einem gewissen Momente aufgestellten Schlüsse umso spekulativer sein müssen, je älter sie sind, ist selbstverständlich, ebenso daß dabei die subjektive Ansicht die Deutung desjenigen, welches der objektiven Beobachtung entzogen ist, gewissermaßen ersetzen muß. So ist es begreiflich, daß neue Forschungen ältere Beobachtungen und deren Deutung ergänzen oder gar widerlegen, oftmals in ganz entgegengesetztem Sinne. In diesem Falle verlieren solche veraltete Ansichten ihre integrale wissenschaftliche Bedeutung und behalten nur noch einen historischen Wert, als Belege für ein gewisses Stadium der Entwicklung der Wissenschaft. Wie weitgehend und oftmals plötzlich, so zu sagen ruckweise, die Fortschritte der geologischen Forschung zu neuen, klar und deutlich belegten Schlüssen und Ansichten geführt haben, möchte ich Ihnen zeigen, indem ich ganz kurz diejenigen Kapitel der Geologie durchstreife, welche im Laufe der letzten Dezennien die weitgehendste Umprägung erfahren haben, nämlich: Gebirgsbau, unterirdische Gewässer, Vulkanismus.

Bau und Entstehung der Gebirge (Tektonik).

Die Ansichten über die Entstehung der Gebirge, welche bis über das erste Viertel des vergangenen Jahrhunderts vorherrschten, schrieben vulkanischen Kräften die hauptsächlichsten Einflüsse bei der Gebirgserhebung zu. So sah der sehr verdienstvolle Jurageologe Thurmann in jedem der einzelnen, oft so regelmäßigen Gewölbe der Jurakette die Einwirkung unterirdischer vertikal wirkender Kräfte. Die nunmehr Antiklinaltäler genannten Vertiefungen hieß er Erhebungskrater. Schon zu derselben Zeit zeigte Studer, daß in den Alpen sehr viele Umbiegungen der Schichten nicht vertikal, sondern horizontal liegen. Er nannte sie C-Falten. Als nun aber Arnold Escher

von der Linth zeigte, daß in den Glarner Alpen ganz ausgedehnte anormale Überlagerungen vorhanden seien, wodurch die ältesten Schichtenglieder auf große Oberflächen über die jüngsten Formationen zu liegen kommen, da wurde es klar, daß solche Lagerungsverhältnisse nur durch horizontalen Schub zustande kommen konnten. Die Erhebungstheorie wurde von nun an durch die Horizontalschubtheorie ersetzt. Diese stützt sich übrigens auf die von Kant und Laplace in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts aufgestellte Erdtheorie, deren eigentliche Grundsätze schon fast ein halbes Jahrhundert vorher von Descartes aufgestellt wurden, nämlich die Volumenverminderung des Erdinnern und die daraus entstehende oberflächliche Spannung in der Erdkruste, wodurch Einbrüche und Deformationen der anfänglich gebildeten Erstarrungshülle entstehen müssen.

Albert Heim entwickelte hierauf in weitestem Maße die grundlegenden Befunde Eschers, indem er die von diesem nur vermutete „Glarner Doppelfalte“ in Wort und Bild, man möchte fast sagen unwiderlegbar zur Darstellung brachte und ausführliche Betrachtungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung daran knüpfte (1878). Zu gleicher Zeit zeigte auch Renevier in den westlichen Schweizeralpen das Vorhandensein einer liegenden Falte an der Dent de Morcles, wo dieselbe ebenso klar und deutlich zu beobachten ist als die Glarnerfalten; zwar mit weniger großem Ausmaß als hier, denn die nördliche Glarnerfalte sollte eine Spannweite von über 25 Kilometer haben und die südliche noch mindestens 15, während die liegende Falte von Morcles eine sichtbare Überlagerung von kaum 15 Kilometer aufweist. Gestützt auf seine Beobachtungen in Südfrankreich und im franco-belgischen Kohlenbecken zeigte nun der französische Geologe Marcel Bertrand, ohne noch das Gebiet besucht zu haben, im Jahre 1884, daß die sich entgegen gerichteten Umbiegungen der beiden Glarnerfalten nirgends einwandlos erwiesen seien und daß durch einfache Konstruktionsabänderung eine einfache Falte von riesiger Spannweite angenommen werden könne, was mit dem Prinzip der Gebirgsbildung durch Horizontalschub mit einseitiger Wirkung viel besser ver-

einbar sei. Es handelte sich also darum, eine gewölbeartig aufgebogene liegende Falte anzunehmen, deren Fuß im Rheintal und deren Stirnabiegung am Nordrande des Säntis zu suchen sind, also eine Spannweite von mehr als 40 Kilometer. Er vermutete zugleich, daß diese Überfaltung nicht nur dem ganzen Nordrand der Westalpen entlang, sondern auch in den Ostalpen sich fortsetzen müsse, wo ebenfalls ein anormaler Kontakt zwischen jüngeren und älteren überlagernden Schichten zu beobachten sei. Diese Voraussichten sollten sich im weitesten Maße bestätigen!

Untersuchungen über die Herkunft der sogenannten exotischen Blöcke im Flysch hatten mich schon 1891 dazu geführt, der Annahme Bertrands über die „Einheit“ der Glarnerfalte beizupflichten, indem ich zwei Überschiebungsgebiete annahm, welche sich der Thunerseelinie entlang gegenseitig zu vertreten schienen, dort wo die Gebirgsglieder des N-E Ufers um volle 10 Kilometer gegenüber ihrer westlichen Fortsetzung nach N-W vorgeschoben sind, was schon Studer fast 60 Jahre vorher hervorgehoben hatte.

Von der einheitlichen Glarnerfalte ausgehend, betrachtete ich damals zum erstenmal die Gesamtheit der Gebirge östlich vom Thunersee als eine vollständig überschobene Masse, als die Fortsetzung der großen Glarnerfalte und den Flysch des Jochpaß-Surenen, sowie des Schächentales als die westliche Verlängerung des Glarnerflyschs; derselbe bildet die Grundlage, auf welcher die Sedimentmassen der überschobenen Falten an den Alpenrand gelangten.

Die sogenannten Klippen, welche östlich vom Thunersee mit gegenüber ihrer Umgebung fremdartiger Fazies aus dem Flysch hervorragen, erkannte ich als zur Stockhornfazies gehörend, welche das ganze Gebiet zwischen Thunersee und Lemán und von diesem bis zum Arve-Giffretal bildet. Dieses Gebiet dachte ich mir damals noch in loco, zwar mit einer beträchtlichen Überschiebung nach Norden, ein Überrest des Studerschen Randgebirges (vindelizisches Gebirge Gumbels), von welchem die Klippen abgeschürfte Trümmer zu sein schienen. Erst zwei Jahre später, nachdem ich die Unmöglichkeit eingesehen hatte,

das Problem der exotischen Blöcke und Klippen durch die Annahme eines versunkenen Randgebirges, oder eines Horstes unter der Stockhornzone zu deuten, da wurde ich zur Überzeugung geführt, daß das ganze Gebiet zwischen Thunersee und Arvetal, nämlich die Stockhorn-Chablaiszone, gleich einer riesigen exotischen Scholle, auf jüngerer Unterlage, bezw. Flysch, als überschobene Masse liegen müsse, und daß die ursprüngliche Lage derselben südlich von der Linie Mont Blanc-Finsteraarhorn zu suchen sei. Die frühere Ausdehnung dieser überschobenen Decke bis an den Rhein und nach Westen bis Annecy erklärt mit einem Schlage die Herkunft der auf dieser Strecke zerstreuten Klippen und die Herkunft des sogenannten exotischen Materials in den Molassekonglomeraten. Heute ist diese Ansicht nach vielen Angriffen allgemein angenommen; ja noch mehr! Nicht nur die Stockhorn- und Klippenzone und die darunter liegenden Falten der helvetischen Fazies weisen in ihrer Lagerung Überschiebungen oder deckenartige liegende Falten auf, sondern auch die gewölbeartig auftauchenden kristallinen Gebirgsmassen des Süd-Wallis sind nichts anderes als Deckfalten der tieferen Teile der Erdkruste. In den Ostalpen sind die kristallinen Gebirgsteile mit den zu ihnen gehörenden Sedimenten auf hunderte von Kilometern von Süden nach Norden geschoben worden. Daraus ergibt sich, daß die Alpenkette aus einer Anhäufung ausgedehnter übereinander gelagerter Faltendecken besteht, deren genaue Zahl bis heute noch nicht ermittelt werden konnte, welche aber gar wohl zehn übersteigen dürfte. Die Lage derselben ist eine außerordentlich mannigfaltige. Am häufigsten sind die sogenannten Tauchdecken, deren Form die eines auf dem Rücken gefalteten großen Gewölbes ist, wobei der Stirnrand in die Tiefe taucht, ein Umstand, welcher sehr lange die Deckennatur solcher tektonischen Gebilde nicht zu erkennen gestattete. Oftmals, wie am Säntis und in der Pilatuskette, taucht der Stirnrand wieder in die Höhe, nachdem die Decke vorher eine untertauchende Lage angenommen hatte, so daß sich zwischen Stirnzone und dem der Wurzel zugewendeten Stück eine breite Synclinale einsenkt. In dieser Mulde liegen die Überreste der durch die

Erosion zerstörten höheren Decken (Klippen). Die merkwürdigste Lage nimmt die Stockhorn-Chablaisdecke (Klippendecke) ein. Sie liegt mit den sie überlagernden Überresten zweier höheren und noch südlicher wurzelnden Decken (Breccien- und rhätische Decken) zum Teil auf dem helvetischen Deckfaltengebiet, deren Stirnteile unter dieselbe tauchen, zum Teil auf den Miozänablagerungen des schweizerischen Mittellandes, von der sie durch eine Unterlage von Flysch (Niesen- und Gurnigelflysch) nebst mitgerissenen mesozoischen Fetzen, getrennt ist. Diese Sedimentmassen haben ihren Ursprung auf der Südseite der Mont Blanc-Aarmassivzone und müssen samt und sonders über die helvetischen Deckfalten hinüber verfrachtet worden sein. Ihre jetzige Lage ist derart, daß man gezwungen ist, anzunehmen, sie seien schon längst von ihrer Wurzel abgetrennt gewesen, als sie ihren letzten Vorstoß erlitten. Die Entwicklung der darunter liegenden helvetischen Falten war es offenbar, welche diese Bewegung vermittelte, nicht aber ein tektonischer Stoß von ihrer eigenen Wurzel ausgehend. Bedenkt man noch, daß die bogenförmige Aufwölbung der helvetischen sowohl als der kristallinen Decken, das Ein- und Auftauchen ihrer Stirnzonen kaum als Resultate eines direkt auf dieselben wirkenden horizontalen Schubes aufgefaßt werden können, besonders wenn man noch den merkwürdigen Umstand ins Auge faßt, daß auf große Ausdehnung die einzelnen Sedimentkomplexe sich parallel ihrer Lagerung von einander abgelöst und sich hierauf unabhängig gefaltet haben, so drängt sich unwillkürlich der Gedanke hervor, daß es sich hier um eine von dem tektonischen Schub nicht direkt beeinflusste Bewegung handle. Die Wurzelzonen der Deckfalten haben, soweit sie bekannt sind, fast ausnahmslos eine sehr steile Stellung. Wenn nun diese das Werk des Horizontal-schubes ist, so scheint es schlechterdings ganz unmöglich anzunehmen, daß dieselbe Einwirkung das Eintauchen sowohl als das Auftauchen und zugleich das Ablösen der einzelnen Schichtenkomplexe bewirkt haben könne. Die langgestreckte Form der Deckfalten, die isoklinale Stellung ihrer einzelnen Teile und noch gar die Weiterbewegung der von den Wurzelzonen schon längst

abgelösten Teile sind schlagende Beweise gegen eine solche Auffassung. Der Mechanismus, welcher die jetzige Lage der übereinandergehäuften Deckfalten am besten zu erklären vermag, ist durch die Annahme gegeben, dieselben als ursprünglich sehr steil stehende, aneinander gedrängte Isoklinalfalten zu denken, welche durch den Horizontalschub zu einer sehr bedeutenden Höhe aufgepreßt wurden, während die südlich davon wurzelnden Deckfalten schon auf deren Köpfe hinaufgeschoben waren. Die ungeheure Überhöhung bewirkte unter dem Einfluß der Schwerkraft allein das Umknicken dieses schon nach Norden geneigten Faltenbüschels und das Losreißen der überschobenen Massen von ihren Wurzeln, das Loslösen und Abgleiten der einzelnen Schichtenkomplexe, ihre unabhängige Faltung beim Anprallen gegen etwaige Widerstände, sowie alle die Eigenschaften, welche mit der direkten Einwirkung des Horizontalschubes unvereinbar sind. Eine solche Entstehungsweise könnte als tektonische Gebirgsschlipfe bezeichnet werden. Sie erklärt unter anderem, warum die am südlichsten wurzelnden Decken am weitesten nach Norden vorgeschoben sind und warum einzelne Teile der vor dem Umknicken und Abgleiten auf die Antiklinalköpfe der stehenden Isoklinalfalten überschobenen Schichten im Laufe des Abgleitens tief zwischen diese eingeklemmt worden sind. (Einwickeltheorie von Arnold Heim).

Die Deutung der tektonischen Verhältnisse der Alpen und die geogenetische Entstehung derselben bilden noch ein weites fruchtbares Arbeitsfeld, denn fast täglich tauchen neue Rätsel und neue Probleme auf, welche mit der Genesis des so merkwürdigen Deckenbaues in Verbindung stehen. Nachdem es gelungen ist, die Eigentümlichkeiten dieses Gebirgsbaues mit genügender Schärfe zu erfassen und zur Darstellung zu bringen, ist es gewiß eine ebenso begeisternde Aufgabe, durch Forschung und Experiment zu zeigen, wie dieselbe zustande gekommen ist.

Unterirdische Gewässer.

Der Verlauf der Sickerwässer im Innern der Erde und deren Rückkehr an die Oberfläche, wo sie als Quellen hervor-

treten, ist gar oft als ein mit der oberflächlichen Hydrographie vergleichbares Problem aufgefaßt worden. Jede Quelle, so nahm man an, habe ihr eigenes, genau abgegrenztes, wenn auch nicht immer geologisch genau abgrenzbares Einzugsgebiet. Die Schwankungen ihres Ertrages müßten demgemäß ausschließlich mit den Veränderungen der atmosphärischen Niederschläge im Einzugsgebiet in Beziehung stehen.

Eine schon bedeutende Zahl von Tunnelbohrungen haben gestattet, tiefgehenden Einblick zu gewinnen in die Beziehungen zwischen oberflächlichen Wässern, Quellen und unterirdischen Wasserläufen. Die Verwendung des äußerst empfindlichen Farbstoffes Fluoreszeïn hat zu genauen Bestimmungen der Durchflußgeschwindigkeit unterirdischer Wasserläufe geführt. Fluoreskopische Messungen gestatten nicht nur äußerst geringe Mengen des Farbstoffes festzustellen, sondern durch colorimetrischen Vergleich mit titrierten Fluorezeïnlösungen läßt sich sogar das Mengenverhältnis zwischen den Quellen und ihren Zuflüssen bestimmen.

Es hat sich besonders bei der Durchbohrung des Simplontunnels gezeigt, daß zwischen einzelnen Quellen von ganz verschiedenen Eigenschaften und Höhenlage dennoch unterirdische Verbindungen stattfinden können, auch wenn dieselben nicht aus demselben Gestein austreten. Die durch das Anschneiden der kalten Quellen (zirka 1000 Sekundenliter) in der Nähe des Km. IV der Südseite an der Oberfläche abgestandenen Quellen breiten sich auf eine Zone von über 10 Kilometer aus. Im Tunnel selber traten aus demselben Gestein, ja aus denselben Spalten ganz verschieden beschaffene und verschieden temperierte Wässer aus. Dieser Umstand beweist, daß die an der Oberfläche früher als einzelne Quellen entspringenden Wässer nicht durch feste Wasserscheiden von einander getrennt wurden, sondern daß ihre einzelnen Ströme nur durch die gegenseitigen Druckverhältnisse von einander getrennt wurden. Bei Zunahme des einen konnte sich somit die „piezometrische“ Wasserscheide verschieben. Die seit längeren Jahren an den Quellen der Mont de Chamblon bei Yverdon verfolgten Experimente, mittels Färbung des Wassers

der Doline von Feurtille bei Baulmes, haben bewiesen, daß die an Fuße jenes Neocomhügels austretenden Quellen, trotz ihrer Verschiedenheiten und Entfernung von einander, dennoch mit einander in Verbindung stehen. Hier, sowenig als bei den eben erwähnten Quellen des Simplongebietes kann von einem scharf abgegrenzten Einzugsgebiet gesprochen werden; dieses ist als ein gemeinsames zu betrachten, während zwischen den zu den Ausflußstellen führenden und mehr oder weniger tiefgehenden unterirdischen Kanälen Verbindungen stattfinden, welche je nach der Menge des Wassers verschiedenen Mengenverhältnissen entsprechen.

Die unterirdischen Wasserläufe führen zu den Ausflußstellen nach ganz anderen Gesetzen als die oberirdischen. Aus den eben erwähnten Ereignissen im Simplontunnel geht noch hervor, daß das Wasser, welches vor dem Durchstich zwischen 600 und 800 Meter über dem Tunnelniveau an der Oberfläche entsprang, damals schon zum Teil bis unter dieses Niveau in die Tiefe herunter gedrungen war und dort sogar geräumige Kanäle ausgelaugt hatte. Dieser Umstand tritt ganz besonders bei den warmen Tunnelwässern des Simplons auf prägnante Weise hervor. In der zentralen Zone nämlich wurden auf eine Länge von 1250 Metern zahlreiche Wasseradern erbohrt, mit Initialtemperaturen von 47 bis 49° Celsius und einem Totalerguß von zirka 300 Sekundenlitern. Einige derselben wurden nachher bedeutend kühler; andere nahmen auch an Wassermenge ab. Die weiten, oftmals mit Calcit bedeckten Durchflußkanäle mußten von jeher der Wasserzirkulation dienen, während doch die ursprünglichen oberflächlichen Quellen gewiß mehr als 1000 Meter über dem Tunnelniveau gelegen sein mußten, wahrscheinlich in dem wasserreichen Talkessel der Alpe di Veglia. Dort ist aber nie die Spur einer Thermalquelle bekannt geworden, somit ist als erwiesen anzunehmen, daß das so tief in den Erdboden eindringende Wasser sich allerdings in der Tiefe erwärmte, aber mit nicht beschleunigter Geschwindigkeit wieder an die Oberfläche aufstieg, wobei es sich beim Durchfluß durch die kälteren Felsmassen bis zur normalen oberflächlichen Boden-

temperatur abkühlen konnte. Das allmähliche Eindringen in so bedeutende Tiefen und das nachherige Emporsteigen werden durch thermische Zirkulation vermittelt.

Die Durchflußgeschwindigkeit unterirdischer Wässer ist, wie zu erwarten, ganz anderen Gesetzen unterworfen als dies bei oberflächlichen Wasserläufen der Fall ist. Bei zunehmender Wassermenge nimmt die Geschwindigkeit bei jenen nicht im gleichen Maße zu, wie bei diesen; trotzdem schwellen gewisse Quellen schneller an als Bäche mit gleich weit entferntem Einzugsgebiet. Diese Eigenschaft trifft besonders bei vielen aus Kalkgebieten entspringenden Quellen zu, deren Hochwasserstand einige hundertmal den Niederwasserstand übersteigen kann. Färbung des Quellaufes an Dolinen im Momente der Zunahme zeigt aber, daß das Ansteigen der Quelle lange vor der Ankunft des gefärbten Wassers stattfindet, was mit dem Umstand in Zusammenhang zu bringen ist, daß viele Quellläufe in geschlossenen Kanälen, gleich Druckleitungen fließen, oder doch in einzelnen Teilen stehende Ansammlungen bilden, deren Überlauf zunehmen muß, lange bevor die Farbe an diesen gelangt. Mittels genauen Zeitbestimmungen, Wassermessungen und colorimetrischen Beobachtungen bei verschiedenen Wassermengen können somit Ergebnisse über die Raumverhältnisse der von unterirdischen Wässern durchflossenen Kanäle gewonnen werden. Noch sehr wenige vollständige Untersuchungen dieser Art sind bis jetzt vorgenommen worden. Ein weites lohnendes Arbeitsfeld liegt also vor uns. Es gilt dasselbe zu erschließen.

Das Wesen der Vulkane.

Die Ansichten über die Ursachen der vulkanischen Ausbrüche, besonders deren so furchtbaren mechanischen Wirkungen, welche gleich explosiven Eigenschaften sich geltend machen, haben in neuerer Zeit eine tiefgehende Umgestaltung erleiden müssen.

Nachdem schon zur Genüge dargetan worden ist, daß das Eindringen von oberflächlichem Wasser in die Tiefen der vul-

kanischem Herde nicht als Ursache des Aufsteigens des feuerflüssigen Magmas unter „Dampfdruck“ angesehen werden dürfe, so blieb dennoch, gleich einem wissenschaftlichen Dogma, die Überzeugung vorherrschend, daß es eben doch aus dem Magma plötzlich entweichender Wasserdampf sei, welcher die paroxysmale Tätigkeit der Vulkane verursache. Das Magma enthalte als normalen Bestandteil eine gewisse Menge Wasser, oder doch dessen Komponenten, welche sich im Momente des Austretens zu Wasserdampf verbinden. Langsam im Erdinnern aus dem Magma austretender Wasserdampf sollte in den genügend erkalteten Teilen der Erdkrinde durch seine Kondensation das sogenannte „juvenile“ Wasser bilden, im Gegensatz zum „vadosen“, das heißt durch Regen gespriesenen Sickerwasser, eine Hypothese, welche gewiß der Genialität nicht entbehrt. Wasserdämpfe treten ja in großer Menge aus Lavaergüssen sowohl als aus den Klüften der vulkanischen Kegel. Vulkanische Ausbrüche sind von Regengüssen und Schlammströmen begleitet. Die Rauchsäule, welche sich über dem Krater erhebt, ist von weißen Wolken begleitet, an deren Eigenschaft als Wasserdampf wohl niemand zu zweifeln wagte. Andererseits wurde aber auch das schon längst bekannte Vorhandensein beträchtlicher Mengen von Chlorverbindungen in den vulkanischen Exhalationen als ein Beweis angesehen, daß es Meerwasser-Infiltrationen seien, welche sich an dieser Versorgung der vulkanischen Magmen mit Wasserdämpfen beteiligen. In dieser Hinsicht wurden sogar ganz ingenieure Profile konstruiert.

Seit einer Anzahl von Jahren hat nun Dr. Albert Brun in Genf eingehende Untersuchungen vorgenommen, indem er sowohl die erstarrten Laven auf ihren Gasgehalt untersuchte, als auch die aus den noch flüssigen Laven austretenden Gase chemisch analysierte. Besonders die zumeist als Dampfquellen bezeichneten Fumarolen der verschiedensten vulkanischen Gebiete der Erde wurden in das Bereich seiner Untersuchungen gezogen. Er gelangte dabei zu ebenso überraschenden, als die bisherigen Ansichten erschütternden Resultaten, deren Hauptergebnisse etwa wie folgt zusammengefaßt werden können:

Alle glasig erstarrten Laven enthalten bedeutende Mengen Gase, welche beim Schmelzen mit mehr oder weniger Ungestüm entweichen und entweder einfaches Aufblähen oder auch eine wirkliche Explosion bewirken. Unter diesen Gasen findet sich kein Wasserdampf, denn sie bestehen vorzugsweise aus Cl, HCl, SO₂, CO₂, CO. Ihre Menge kann bis 500 Kubikcentimeter per Kilogramm betragen. Nach Oxydation des Magmas und nochmaligem Schmelzen entweichen wieder Gase in fast ebenso großer Menge, worunter aber CO und CO₂ vorherrschen. In keinem Falle wurde Wasser vorgefunden.

Kristallin erstarrte Magmen derselben Zusammensetzung sind vollständig gasfrei. Somit ist die Kristallisation der vulkanischen Magmen mit vollständigem Entweichen der darin enthaltenen Gase verbunden, wodurch die Mineralisationen im Umkreis der Batholite, und die von Rosenbusch aufgestellte „pneumatolytische“ Phase im Verlauf der vollständig kristallinen Erstarrung der Tiefengesteine auf eklatante Weise ihre Erklärung finden.

Frisch gefallene vulkanische Aschen enthalten $\bar{1}$ bis 1,5% Salze, worunter CaSO₄, K₂SO₄, NaCl, MgCl₂, NH₄Cl, Kohlenwasserstoffe, Spuren von Phosphor, von AlCl₃ und FeCl₃, sowie FeCl₂ aber keine Spur von Wasser.

Die aus der flüssigen Lava austretenden Gase sind N, NH₃, Cl, HCl, CO, CO₂, S, SO₂, Fluoride und Chloride von NH₄, K, Na, Mg, Ca, dann HFl, und SiFl₄, aber kein H₂O.

Aus diesen entstehen die in der frischen Asche enthaltenen Salze. Dieselben Salze finden sich in den Dämpfen und Niederschlägen der Fumarolen und Solfataren.

Der Wasserdampfgehalt der Fumarolen sollte, wenn derselbe dem vulkanischen Magma entstammte, mit der Nähe des Kraters zugleich mit der Temperatur zunehmen. Aber das Umgekehrte ist der Fall; der größte Dampfgehalt findet bei einer Temperatur von 110 bis 120° statt, während bei höheren Temperaturen und näher beim Krater dessen Menge geringer ist. Gasausströmungen von 360° sind absolut wasserfrei. Bei lang andauernder trockener Witterung nimmt der Wassergehalt der Fumarolengase allgemein ab; infolge Regenwetters nimmt er aber rasch zu. Somit

entstammt derselbe nicht dem Magma, sondern dem meteorischen Wasser. Dampfausbrüche und Regen am Anfang der Paroxysmen der Vulkane sind der Verdampfung von unterirdischem Wasser zuzuschreiben. Schlammströme entstehen durch Einwirkung von Regen auf frischgefallene Asche.

Wie folgenschwer diese mit größter Genauigkeit durchgeführten Untersuchungen sind, ist leicht zu ersehen. Ein neuer Horizont ist der Forschung eröffnet worden. Viele werden denselben betreten und dazu beitragen, das eigentliche Wesen einer fast unnahbaren und deshalb bis jetzt zumeist nur aus der Ferne betrachteten Erscheinung festzustellen.

* * *

Diese Beispiele, aus den zahlreichen Gebieten der geologischen Forschung herausgegriffen, mögen zeigen, wie viel noch zu ergründen bleibt und wie reichlich der Lohn denjenigen zufällt, welche mit Geduld und Ausdauer sich bemühen, der wissenschaftlichen Wahrheit näher zu rücken.

Allen Studierenden, besonders denen, welche die Geologie als besonderes Studium gewählt haben, rufe ich ein herzliches Glückauf entgegen!

Dieser Vortrag war illustriert mittels Ansichten, Profilen und Tabellen, welche sich zur Publikation in der gegebenen Form nicht eignen. Dieselben sind zum größten Teil enthalten in folgenden Arbeiten:

Alb. Heim. Mechanismus der Gebirgsbildung. 1878.

H. Schardt. Les régions exotiques du Versant N. des Alpes suisse etc. *Bull. soc. vaud. Sc. nat.* E. XXXIV. 1898.

— La Suisse. Configuration du sol. Extr. *Dict. Géogr. d. l. Suisse.* (Geogr. Lexikon der Schweiz.) Die Schweiz. Attinger frères, Neuchâtel. 1906.

— L'origine des Sources du Mont de Chamblon. *Bull. soc. neuch. Sc. nat.* T. XXVI. 1898.

— Die modernen Ansichten über den Bau und die Struktur der Alpen. *Verh. der Schw. nat. Ges. St. Gallen* 1907.

— Die wissenschaftlichen Ergebnisse des Simplondurchstichs. *Verh. d. Schw. nat. Ges. Winterthur.*

Lugeon. Les grandes dislocations des Alpes. *Bull. Soc. Géol. France.* 1901.

A. Brun. Recherches sur l'Ethalaison volcanique. Genève et Paris 1911.