

## Fortschritte der Vulkanologie

Von A. RITTMANN

Bis vor einem halben Jahrhundert war die Vulkanologie eine beschreibende Wissenschaft, die – zumeist nur gelegentlich – von Geographen und Geologen ausgeübt wurde. Die meisten Nachrichten über Vulkanausbrüche stammten von zufälligen, nicht geschulten Beobachtern und wurden von mehr oder weniger dilettantischen Forschungsreisenden gesammelt. Nur wenige aktive Vulkane, wie zum Beispiel der Vesuv und der Ätna, wurden dauernd von Fachleuten unter Beobachtung gehalten. Andere wurden von Vulkanologen besucht, sobald man erfuhr, dass ein Ausbruch begonnen hatte. Mit der zunehmenden Verbesserung des Verkehrs steigerte sich die Zahl der – wenigstens teilweise – beobachteten Eruptionen immer mehr, und heute ermöglicht der Luftverkehr eine fast lückenlose Überwachung der Mehrzahl der tätigen Vulkane durch Militärflieger und Zeitungsreporter, denen Flugzeuge leichter zur Verfügung stehen als den Fachwissenschaftlern.

Das gesteigerte Interesse an geophysikalischen Untersuchungen hat in den letzten Jahren dazu geführt, dass manche besonders interessante Vulkane mit seismographischen Stationen versehen wurden, in denen Registrierinstrumente das leichteste Zittern und Beben des Vulkanbaus aufzeichnen. Dadurch und mit Hilfe von klinographischen, gravimetrischen und magnetometrischen Messungen erhalten wir Angaben über Vorgänge, die sich in der Tiefe abspielen und, wenn wir einmal über ein reicheres statistisch auswertbares Material verfügen, wohl auch die Vorhersage kommender Ereignisse ermöglichen werden. Leider sind solche modern eingerichteten geophysikalischen Überwachungsstationen recht kostspielig und deshalb an den europäischen Vulkanen noch nicht oder nur in sehr rudimentärer Ausführung vorhanden. Ihre Leistungsfähigkeit wurde jedoch in Asien, Amerika und Afrika bereits erprobt.

Viel besser als über die Tätigkeit der Vulkane sind wir über das von ihnen geförderte Material unterrichtet. Zahlreiche Petrographen haben die mineralogische und chemische Zusammensetzung von Laven tätiger und schon längst erloschener Vulkane eingehend untersucht, und durch die grossen Fortschritte in der Konstruktion von Polarisationsmikroskopen und in der Silikatanalyse sind wir heute in den Stand gesetzt, in verhältnismässig kurzer Arbeitszeit eine vollständige quantitative Analyse eines Vulkanits durchzuführen. Die modernen geochemischen und statistischen Berechnungsmethoden ermöglichen die rationelle Auswertung dieser Untersuchungsergebnisse.

Die geologische Untersuchung von Vulkanen, und besonders von tieferodierten Vulkanen vergangener geologischer Epochen, hat uns über ihren inneren Bau, über die Struktur ihres Untergrundes und über die Zu-

sammenhänge zwischen Vulkanismus und Tektonik der Erdkruste ausgiebig unterrichtet. Von ganz besonderer Wichtigkeit ist die von den Geologen festgestellte Tatsache, dass in den Geosynklinalen, aus denen sich später die Faltengebirge entwickelten, eine ausserordentlich starke effusive Vulkantätigkeit am Grunde des Meeres geherrscht hatte. Die Produkte dieser Eruptionen bilden die durch die Gebirgsbildung metamorphosierten Grünschiefer (Ophiolithe), die in den Alpen und ähnlichen Kettengebirgen sehr häufig sind, so dass wir schliessen dürfen, dass der Geosynklinalvulkanismus mindestens ebenso wichtig ist wie der direkt beobachtbare subaerische Vulkanismus. Es darf als gesichert angenommen werden, dass auch in den heutigen Tiefseerinnen effusive Spalteneruptionen häufig sind, obschon an der Meeresoberfläche nichts von ihnen zu sehen ist, da die entweichenden Gase auf dem langen Wege zur Oberfläche vom Wasser absorbiert werden. Durch geophysikalische Registrierungen und geologische Untersuchungen an alten, hochgehobenen Ozeanböden, sowie durch das zufällige Auffinden gesottener Tiefseefische ist ihr Vorhandensein jedoch bewiesen.

Eine wiederum andere Art von Vulkanismus, der in historischer Zeit nicht beobachtet worden ist, besteht im Hervorbrechen von Glutwolken aus Spalten, wodurch grosse Gebiete des Festlandes mit Hunderte von Metern dicken Lagen von verschweissten Vulkanaschen bedeckt wurden. Solche Ignimbritdecken wurden zuerst in Neuseeland entdeckt (MARSHALL<sup>1</sup>), sind aber auch anderswo weit verbreitet, wie zum Beispiel im Permokarbon der Alpen (Bozener Quarzporphyre, gewisse Albitgneise im Penninikum usw.) und im Jungtertiär Mittelitaliens (M. Amiata, Tolfa usw.). Auf Sumatra scheinen solche Ausbrüche nach den Überlieferungen der Eingeborenen auch in prähistorischer Zeit stattgefunden zu haben. Viel kleinere Glutwolkenausbrüche einer allerdings etwas anderen Art sind auch an Zentralvulkanen beobachtet worden, wie zum Beispiel an der Montagne Pelée (LACROIX<sup>2</sup>), bei denen ebenfalls Suspensionen von festen und geschmolzenen Partikeln in heissen Gasen gefördert wurden.

Die wichtigsten Ergebnisse dieser vielseitigen Forschungen an Vulkanen können folgendermassen zusammengefasst werden:

Bei allen Vulkanausbrüchen werden Gase und schmelzflüssige Laven gefördert. Je nach der Heftigkeit der Gasentweichung treten die Laven als zusammenhängende Ströme oder in zerspratzter Form als

<sup>1</sup> P. MARSHALL, Transact. Proc. Roy. Soc. New Zealand (1935), p. 64.

<sup>2</sup> A. LACROIX, *La Montagne Pelée et ses éruptions* (Masson & Cie, Paris 1904).

Schlacken, Bimssteine oder Aschen zutage (vgl. Abb. 1). Die Hauptbestandteile der Gase sind Wasser, Kohlenoxyde, Wasserstoff, Schwefelwasserstoff, Salzsäure usw. Vor dem Ausbruch sind diese Gase unter hohem Druck in der Silikatschmelze gelöst, die man Magma nennt. Kommt das Magma unter geringeren Druck, wie dies zum Beispiel beim Aufreißen einer tiefgehenden Spalte der Fall ist, so trennt sich das Magma unter Aufschäumen in Lava und eine Gasphase, die je nach der Viskosität der Schmelze mehr oder weniger explosiv entweicht und so den Vulkanausbruch verursacht. Der Vulkanismus ist somit ein Entgasungsprozess des Magmas.

Die Zusammensetzung der Laven schwankt in weiten Grenzen, wie dies an einigen Beispielen besonders häufiger Lavatypen in Abbildung 2 dargestellt ist. Basalte stellen die weitaus verbreitetste Lavaart dar, in deren Gesellschaft untergeordnete Mengen von Trachyten, Phonolithen und Tephriten auftreten, die durch alle Übergänge mit den Basalten verbunden sind. Diese Laven gehören der sogenannten atlantischen Sippe an, die an tektonische Bruchgebiete gebunden ist. Andesite und insbesondere Dazite und Rhyolithe bilden dagegen die pazifische Sippe, die in den Faltengebirgszonen (Orogenen) verbreitet ist. Die kalireichen Leuzittephrite und Leuzitite gehören der mediterranen Sippe an, deren Verbreitung auf wenige Gebiete beschränkt ist, die durch tektonische Einbrüche gekennzeichnet sind (siehe Abb. 3).

Die geographische Verteilung der Vulkane und der Vulkanitsippen beweist einen engen Zusammenhang zwischen Vulkanismus und Tektonik, dessen Erforschung die wichtigste Aufgabe der Vulkanologie ist, da er zeigt, dass man nicht unabhängige Theorien über Vulkanismus oder über die Gebirgsbildung aufstellen kann, sondern nur eine beide umfassende geodynamische Theorie, die alle geochemischen und geophysikalischen Tatsachen berücksichtigt und den Vulkanismus in seinen geologischen Rahmen stellt.

Schweremessungen und Untersuchungen über das seismische Verhalten der Erdkruste haben gezeigt, dass die Kontinente vorwiegend aus leichten, an Silizium und Aluminium reichen Gesteinen («Sial») bestehen, die von schwereren, an Silizium und Magnesium reichen Gesteinen («Sima») unterlagert sind. Dieses Sima bildet die Kruste unter den Ozeanen vom Pazifiktypus, wo das Sial fehlt (siehe Abb. 4). Die grosse Häufigkeit der Basalte hat DALY<sup>3</sup> veranlasst, unter der kristallinen Erdkruste eine Basaltschale anzunehmen, die dem Sima analog zusammengesetzt ist.

Auf Grund dieser Arbeitshypothese und zahlreicher experimenteller Untersuchungen über die Erstarrung von Silikatschmelzen, die im «Geophysical Laboratory of Washington» ausgeführt wurden, hat BOWEN<sup>4</sup> in seinem berühmten Buch *The Evolution of Igneous Rocks* eine physikalisch-chemisch wohlbegründete Hypothese entwickelt, in der er nachzuweisen versuchte,

dass sich alle bekannten Lavatypen durch Differentiation aus einem basaltischen Stammagma entwickelt haben. Etwa gleichzeitig beschrieb NIGGLI<sup>5</sup> die Rolle der leichtflüchtigen Bestandteile im Magma und wies nach, dass bei der Kristallisation des Magmas eine thermisch rückläufige Dampfdrucksteigerung auftritt,

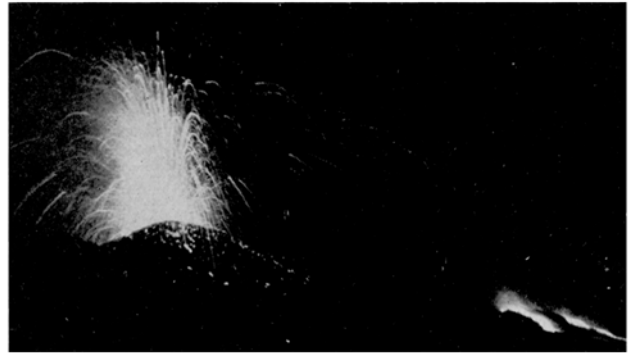


Abb. 1: Tätigkeit des Ätna im Frühjahr 1958. (Nachtaufnahme) Die explosiv entweichenden Gase werfen glühende Lavafetzen etwa 200 m hoch aus dem Krater, während die entgaste Lava ruhig aus einer seitlichen «Bocca» ausfließt

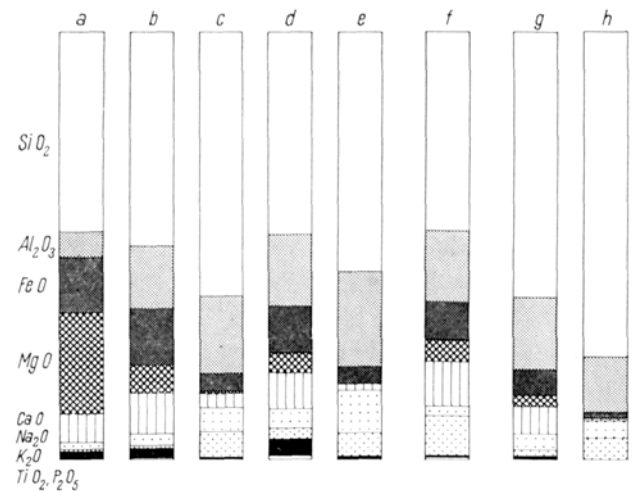


Abb. 2: Chemische Zusammensetzung einiger wichtiger Lavatypen Gew. %

- a) olivinreicher Basalt, sog. Ozeanit (Hawaii)
- b) Mittlere Zusammensetzung der Deckenbasalte
- c) Trachyt (Ischia bei Neapel)
- d) Nephelintephrit (Hawaii)
- e) Phonolith (Marquesas-Inseln)
- f) Leuzitit (Capo del Bove, Rom)
- g) Dazit (Guntur-Vulkan, Java)
- h) Rhyolith (Lipari-Insel, Sizilien)
- a bis e = atlantische Sippe
- f = mediterrane Sippe
- g und h = pazifische Sippe

<sup>3</sup> R. A. DALY, *Igneous Rocks and the Depths of the Earth* (McGraw-Hill Co., London 1933); *Igneous Rocks and their Origin* (McGraw-Hill Co., London 1914).

<sup>4</sup> N. L. BOWEN, *The Evolution of the Igneous Rocks* (Princeton Univ. Press 1928).

<sup>5</sup> P. NIGGLI, *Die leichtflüchtigen Bestandteile im Magma*, Preisschr. Fürstl. Jablonowskische Ges. zu Leipzig, Nr. 47 (Leipzig, B. G. Teubner, 1920); *Das Magma und seine Produkte unter besonderer Berücksichtigung des Einflusses der leichtflüchtigen Bestandteile* (Leipzig 1937).

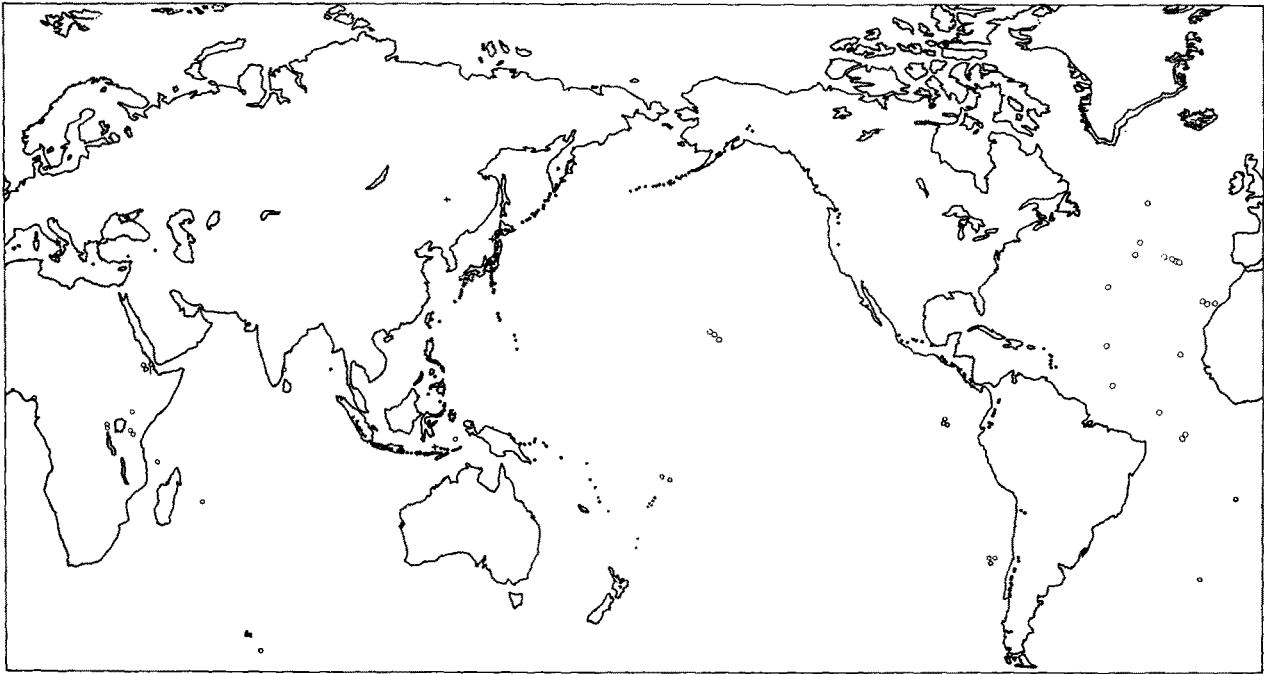


Abb. 3: Geographische Verteilung der tätigen Vulkane

- Punkte = Vulkane der Inselguirlanden und Kettengebirge mit Laven der pazifischen Sippe
- Ringe = Vulkane auf ozeanischen Inseln und kontinentalen Bruchgebieten mit Laven der atlantischen Sippe
- Kreuze = Vulkane in Einbruchsbecken mit Laven der mediterranen Sippe: Vesuv, Oshima (Japan), Batu Tara (Indonesien)
- Schraffiert = Linearvulkane mit basaltischen Ergüssen (Island)

durch die der Eruptionsmechanismus der Vulkane erklärt werden könnte. Die Verbreitung der Vulkanit-sippen wurde auf die durch tektonische Vorgänge bedingten Druck- und Temperaturverhältnisse zurückgeführt, die die Differentiationsvorgnge im Magma entscheidend beeinflussen sollten. Damit schienen die Grundfragen der Vulkanologie beantwortet zu sein.

Neue Feldbeobachtungen bestätigten jedoch immer mehr die schon von SEDERHOLM<sup>6</sup> 1905 erkannte Tatsache, dass Granite durch Metamorphose und schliessliche Einschmelzung von präexistierenden Gesteinen entstehen können, dass also saure Magmen nicht Differentiate eines subkrustalen Basaltmagmas zu sein brauchen, sondern anatektischen Ursprung haben können. Die Forschungen von BACKLUND<sup>7</sup> und WEGMANN<sup>8</sup> in Skandinavien und Grnland bewiesen die ungeheure Verbreitung der durch «Granitisierung» und «Anatexis» entstandenen granitartigen Gesteine. Bei diesen Umwandlungen spielen offenbar intergranulare Lösungen von pegmatitischem Charakter eine grosse Rolle, die schon von SEDERHOLM<sup>6</sup> als «Ichor» bezeichnet wurden. Einige französische Forscher gingen sogar so weit, die Granitisierung als einen Ionenaustausch im festen Zustand zu betrachten ohne Mithilfe eines Ichors.

Als nun die Seismologen nachwiesen, dass sich die Erde bis zu einer Tiefe von 2900 km den Erdbebenwellen gegenüber wie ein fester Körper verhält, wurde sogar der Schluss gezogen, dass es überhaupt keine

Magmaschale gäbe, sondern dass die Vulkane von kleinen durch lokale Einschmelzung des Krustenmaterials entstandenen Magmaherden gespeist werden. Das seismisch feste Verhalten des Erdmantels verleitete überdies zum Schluss, dass die Temperaturen im Erdinnern so niedrig sind, dass der Schmelzpunkt des vorliegenden Materials erst im Erdkern erreicht wird.

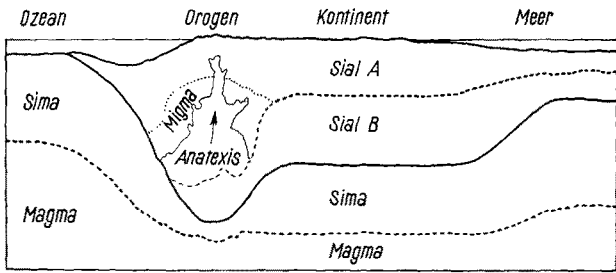


Abb. 4: Schematischer Querschnitt durch die Erdkruste bis etwa 100 km Tiefe

Das primäre Olivinbasaltmagma (siehe Abb. 2a) bildet das Substratum der Kruste und kann, ausserhalb der Orogene, aus tektonischen Zerrspalten aufsteigen und ausbrechen. Sekundäre Magmen entstehen bei Orogenesen innerhalb der sialischen Erdkruste durch Anatexis und intrudieren (Pfeil)

<sup>6</sup> J. J. SEDERHOLM, *Om Palingenesen i den Sydfrinska Skrgarden* (Geol. Fren, Stockholm 1912); *On migmatites and associated pre-Cambrian rocks of Southern Finland*, Bull. Comm. Géol. Finlande, 107.  
<sup>7</sup> H. G. BACKLUND, C. R. Soc. géol. Finlande 9; Bull. Comm. géol. Finlande 115, p. 293.  
<sup>8</sup> C. E. WEGMANN, Geol. Rundschau, 26, 305 (1935).

Ein solches Erdbild ist so gut wie unvereinbar mit der Hypothese, dass die Erde durch Kondensation aus heisser Stellarmaterie entstanden sei. Die Planetesimalhypothese von MOULTON<sup>9</sup> und CHAMBERLIN<sup>10</sup> wurde daher wieder aufgegriffen und von UREY<sup>11</sup> weiter entwickelt. Danach hätte sich die Erde durch Zusammenballung von kaltem meteoritischem Material aufgebaut und verdankte ihre heutige Temperatur teils der Balgungswärme, teils der durch radioaktiven Zerfall erzeugten Wärme.

Der Vulkanologe steht dieser «kalten Hypothese» ablehnend gegenüber, da sie keinerlei Erklärungsmöglichkeit für den Vulkanismus und dessen offenbare Zusammenhänge mit der Gebirgsbildung bietet. Die von Geophysikern geäußerte Ansicht, dass sich lokale Magmaherde durch tektonische Druckentlastung oder durch radioaktiv erzeugte Wärme bilden können, hält einer genaueren Prüfung nicht stand. Wären die Basaltmagmen durch radiogene Anatexis entstanden, so müssten sie reich an radioaktiven Elementen und deren Zerfallsprodukte sein. Tatsächlich gehören jedoch die Basalte zu den daran ärmsten Gesteinen. Die Einschmelzung eines kristallinen Gesteins infolge von Druckentlastung ist ebenfalls ausgeschlossen, wie an Hand eines Zustandsdiagramms des Basaltmagmas leicht nachgewiesen werden kann<sup>12</sup>. In einem bereits geschmolzenen, unter hohem Druck stehenden Magma bewirkt die Druckentlastung, wie sie durch das Aufreissen einer abysalen Zerrspalte in der Erdkruste bewirkt wird, eine sehr rasche Abnahme der Viskosität um viele Grössenordnungen. Über die Wahrscheinlichkeit eines seismisch festen Verhaltens des hochviskosen subkrustalen Magmas kann kein Zweifel mehr bestehen, seit KUHN und VIELHAUER<sup>13</sup> in Basel ein solches elastikoviskoses Verhalten selbst in tropfbar flüssigen Körpern experimentell untersucht und die Gültigkeit der Maxwell'schen Beziehung nachgewiesen haben, die ausagt, dass die Viskosität gleich dem Produkt aus Richtigkeit und Relaxationszeit ist<sup>14</sup>. Damit ist der Einwand der Geophysiker gegen die Existenz einer schmelzflüssigen Magmazone, ohne die der basaltische Vulkanismus nicht erklärbar wäre, vollständig entkräftet. Das Vorhandensein eines solchen subkrustalen Magmas setzt aber in etwa 80 km Tiefe eine Temperatur von etwa 1300°C voraus, die mit der Planetesimalhypothese völlig unvereinbar ist.

Das scheinbar so wohl begründete Bild der Magmatiker hat sich aber dennoch als teilweise unrichtig erwiesen, da die Tatsachen beweisen, dass bei jeder Orogenese saure Magmen durch Anatexis sialischer Gesteine neu entstehen und nicht vom subkrustalen Magma abstammen. Die oft sehr heftige Diskussion zwischen den von NIGGLI<sup>5</sup> angeführten Magmatikern und den Anhängern der Granitisierungslehre, die besonders von WEGMANN verfochten wurde, erinnerte an den klassischen Kampf zwischen Plutonisten und Neptunisten. Heute kann kein Zweifel mehr bestehen, dass

jene Diskussionen angesichts der Tatsachen mit einem Kompromiss enden müssen, da offenbar beide Lehren Teilwahrheiten verkünden. Unter Berücksichtigung der bekannten geologischen, geophysikalischen und geochemischen Tatsachen und deren Interpretierung auf Grund der physikalisch-chemischen Gesetzmässigkeiten kommt der Vulkanologe zu Schlussfolgerungen, deren Grundzüge etwa folgendermassen zusammengefasst werden können:

Der Vulkanismus ist im wesentlichen ein Entgasungsprozess der Erde.

Die Gase sind im Magma der Tiefe in molekularer Lösung vorhanden. Bei Druckentlastung infolge von tektonisch bedingter Spaltenbildung scheidet sich eine freie Gasphase ab, das Magma schäumt auf und dringt durch die Spalte zur Erdoberfläche empor und verursacht dort vulkanische Ausbrüche, bei denen die Gase in die Atmosphäre entweichen oder (bei submarinen Ausbrüchen) vom Meerwasser absorbiert werden. Die subaerischen Ausbrüche sind um so explosiver, je höher die Viskosität des erumpierenden Magmas ist. Trotz der grossen Verschiedenheit der Ausbrucherscheinungen ist der Eruptionsmechanismus im Grunde immer derselbe und kann, unter Berücksichtigung der lokalen Bedingungen, bis ins einzelne befriedigend erklärt werden. Immer handelt es sich um einen Entgasungsvorgang des Magmas infolge von Druckentlastung.

Was die Herkunft der Magmen und ihre in weiten Grenzen schwankende Zusammensetzung anbetrifft, macht man sich etwa folgendes Bild:

In etwa 80 km Tiefe unter den Kontinenten und in geringerer Tiefe unter den Ozeanen wird eine Temperatur von 1300°C erreicht. Von dort ab beginnt die Magmazone. Die Zusammensetzung dieses primären subkrustalen Magmas dürfte derjenigen eines sehr olivinreichen Basalts entsprechen (siehe Abb. 2a), wie dies auch für das «Sima» (siehe Abb. 4) anzunehmen ist. Beim Aufstieg dieses Magmas auf abysalen Spalten bleiben die bereits ausgeschiedenen Olivinkristalle  $(\text{Mg, Fe})_2\text{SiO}_4$ , zurück und bilden in geringer Tiefe einen Kristallbrei, während das olivinfreie oder -arme Magma in Spaltenergüssen zutage bricht und die grossen Basaltdecken bildet. In Tiefseerinnen und Geosynklinalen wird jedoch auch der Kristallbrei gefördert und vom Meerwasser während seiner Abkühlung in Serpentin verwandelt, der unter den Grünschiefern der hochgehobenen und verfalteten Geosynkinalablagerungen eine grosse Rolle spielt. Der stoffliche Unterschied zwischen den kontinentalen Basalten und den geosynklinalen Laven ist danach einer gravitativen Diffe-

<sup>9</sup> F. R. MOULTON, *Astrophys. J.* 90, 675 (1905).

<sup>10</sup> T. C. CHAMBERLIN, *Astrophys. J.* 14, 17 (1905).

<sup>11</sup> H. C. UREY, *The Planets: their Origin and Development* Yale University Press, New Haven 1952).

<sup>12</sup> Vgl. A. RITTMANN, *Bull. volc.* 19, 85 (1958). Physico-chemical interpretation of the terms magma, migma, crust and substratum.

<sup>13</sup> W. KUHN und S. VIELHAUER, *Z. physikal. Chemie* 202, 124 (1953).

rentiation während des Magmaaufstiegs zu verdanken und wird durch den Einfluss des Meerwassers und die während der Gebirgsbildung auftretende Regionalmetamorphose noch verstärkt.

In tektonischen Bruchgebieten kommt es häufig zur Bildung von lokalen Magmaherden, die meist kleine Zentralvulkane speisen. In solchen, verhältnismässig in geringer Tiefe liegenden Herden sind die Bedingungen für allerlei Differentiationsvorgänge sehr günstig, da das Magma an die kühlere Umgebung Wärme abgibt und deshalb Kristalle ausscheidet. Dabei verändert sich die Zusammensetzung der Restschmelze, und wenn die Kristalle absinken, so bleibt in den oberen Teilen des Herdes ein differenziertes Magma zurück, das schliesslich trachytische Zusammensetzung aufweist (vgl. Abb. 2c). Je nach den lokalen Umständen, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann<sup>14</sup>, kann aber auch der sogenannte Gastransport eine wichtige Rolle spielen. Durch ihn werden vorwiegend Alkalien in den oberen Teilen des Magmaherdes angereichert, wodurch basaltisches Magma (Abb. 2b) in tephritisches (2d) und trachytisches (2c) in phonolithisches Magma (2e) verwandelt wird. In seltenen Fällen kommt das basaltische Magma oder ein aus ihm durch Differentiation entstandenes Trachytmagma mit Karbonatgesteinen am Dach des Herdes in Kontakt und assimiliert dieselben. Infolge dieses Vorgangs und weiterer Differentiationen entstehen Magmen, aus denen Leuzite und sogar Melilithe auskristallisieren. Die leuzitführenden Laven (2f) kennzeichnen die Magmen der mediterranen Sippe. Das bestuntersuchte Beispiel eines Vulkans, der solche Laven fördert, ist der Vesuv.

Durch diese Differentiationen können alle atlantischen und mediterranen Magmatypen zwanglos erklärt werden, nicht aber die pazifischen der Inselguirlanden und Kettengebirge (siehe Abb. 3). Alle theoretischen Versuche, sie durch Differentiation aus dem primären Olivinbasaltmagma abzuleiten, stehen mit den Beobachtungstatsachen im Widerspruch, die eindeutig daraufhinweisen, dass die dazitischen bis rhyolithischen Magmen (siehe Abb. 2g, h) in der Hauptsache durch Einschmelzung präexistierender sialischer Gesteine, das heisst durch Anatexis entstehen. Andere mögen, allerdings nur in untergeordneten Mengen, durch Assimilation von sialischem Material von seiten eines in der Erdkruste hochgedrungenen Basaltmagmas und Differentiation des so entstandenen syntektischen Magmas gebildet werden. Wieder andere verdanken ihre Entstehung der Vermischung von primärem Basaltmagma und sekundären anatektischen Magmen und Differentiation der hybriden Schmelze. Diese Vorgänge sind bis jetzt nur in ihren Grundzügen erforscht, und es dürfte noch geraume Zeit dauern, bis wir eine genetische Systematik der Laven aufstellen können, die die ungenügende und widerspruchsvolle, rein phänomenologische petrographische Klassifikation zu ersetzen vermag.

Durch die Einführung physikalischer und chemischer Methoden hat sich die Vulkanographie zu einer eigentlichen Vulkanologie entwickelt, die sich nicht nur mit den aktiven Vulkanen und ihren Ausbrüchen befasst, sondern vor allem auch die Vorgänge in der Tiefe und ihre Zusammenhänge mit dem gesamten geologischen Geschehen zu ergründen versucht. Nur in diesem weitgesteckten Rahmen wird es möglich sein, das wahre Wesen und die wirkliche Bedeutung des Vulkanismus zu verstehen, dessen sichtbare Erscheinungen an der Erdoberfläche nur ein Rädchen im äusserst komplizierten Uhrwerk des geodynamischen und geochemischen Geschehens darstellt. Im Energiehaushalt der Erde stellt der Oberflächenvulkanismus nur einen winzigen Bruchteil dar und wird deshalb von vielen Geophysikern als «quantité négligeable» betrachtet. Seine Bedeutung beruht jedoch in seiner Qualität, ist er doch der einzige Vorgang, der uns direkte Kenntnis der stofflichen Natur des Magmas und der physikalisch-chemischen Vorgänge in grösseren Tiefen vermittelt, während die Seismik und Gravimetrik uns nur über das mechanische Verhalten des Erdinneren Auskunft gibt. Das Studium des aktiven Vulkanismus und des physikalischen Verhaltens der Erde enthüllt uns den gegenwärtigen Zustand der Erde, zu dessen wirklichem Verständnis seine Entstehungsgeschichte unbedingt notwendig ist. Diese zu ergründen ist Aufgabe der Geologie und ihres wichtigen Zweiges der Paläovulkanologie, die mit geologischen, petrographischen und geochemischen Methoden den Vulkanismus der geologischen Vergangenheit erforscht. Sie ist eine notwendige Ergänzung der Vulkanologie, da nur sie uns Auskunft erteilen kann über den Zusammenhang zwischen Vulkanismus und Gebirgsbildung und über Arten der vulkanischen Tätigkeit, die heute nicht auftreten oder der Beobachtung unzugänglich sind, wie zum Beispiel der Tiefsee- und Geosynkinalvulkanismus oder die grossartigen Ignimbritausbrüche spätorogener anatektischer Magmen.

Die Vulkanologie ist daher in erster Linie eine geologische Wissenschaft, die in der glücklichen Lage ist, die sie interessierenden Vorgänge auch in der Gegenwart in voller Tätigkeit beobachten zu können. Die Vielseitigkeit ihrer Aufgaben bedingt die grosse Mannigfaltigkeit der angewandten Methoden: Historiker, Geographen, Geologen, Petrographen, Geophysiker, Geochemiker, Physiko-Chemiker und Ingenieure haben diese Methoden entwickelt. Da es kaum möglich ist, dass ein Vulkanologe alle diese Methoden beherrscht, ist eine verständnisvolle Zusammenarbeit von Spezialisten erforderlich, wie dies im Rahmen der «Association Internationale de Volcanologie» geübt wird. Die «A.I.V.» gibt das «Bulletin volcanologique» und einen «Katalog der tätigen Vulkane und Solfatarenfelder»

<sup>14</sup> Näheres siehe A. RITTMANN, *Vulkane und ihre Tätigkeit*, 2. Aufl. (Verlag Enke, Stuttgart 1960).

heraus. Sie ist eine der sieben Assoziationen, die die «Union Internationale de Géodésie et Géophysique» bilden. An Kongressen und Symposia ermöglicht diese Organisation den persönlichen Kontakt zwischen den Forschern aller Länder und trägt dadurch wesentlich zum Fortschritt der Vulkanologie bei.

#### Riassunto

L'autore mette in evidenza che gli studi vulcanologici hanno avuto negli ultimi decenni un notevole impulso in seguito alla sempre più perfezionata attrezzatura scientifica

degli osservatori vulcanologici e soprattutto per il progresso degli studi geologici, petrografici, geofisici e geochimici.

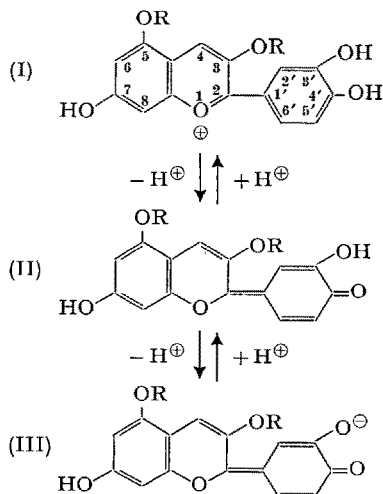
Egli illustra i più importanti risultati (ottenuti) riguardanti principalmente l'origine dei magmi (primario ed anatettico), il meccanismo delle eruzioni, la distribuzione geografica dei vulcani e delle «serie magmatiche» e gli intimi rapporti fra fenomeni vulcanici e fenomeni tettonici.

Da questo quadro risulta che il vulcanismo deve essere considerato come un processo di degassazione della Terra e che la recente applicazione di metodi di ricerca fisici e chimici contribuisce all'ulteriore progresso della vulcanologia, la quale rimane essenzialmente una scienza geologica.

## Vorgänge bei pH-Änderung und bei Belichtung eines Anthocyanidins

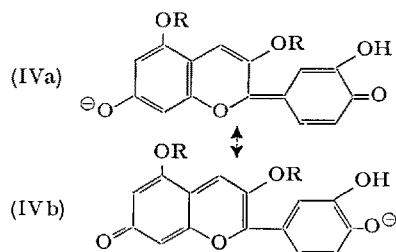
Von H. KUHN und W. SPERLING

Nach WILLSTÄTTER<sup>1</sup> und KARRER<sup>2</sup> beruhen die Farbunterschiede von roten und blauen Blüten auf pH-Unterschieden in den Zellsäften der Blütenblätter; es wird angenommen, dass in saurer Lösung das rote Kation (I), in neutraler Lösung die violette chinoide Form (II) und in alkalischer Lösung das blaue Anion (III) auftritt:



Andererseits ist nach ROBINSON<sup>3</sup> die blaue Farbe der Blütenblätter auf eine Adsorption der Anthocyane an kolloidale Teilchen in den Zellsäften zurückzuführen; nach SHIBATA<sup>4</sup> beruht sie auf dem Vorliegen von Metallkomplexen der Anthocyane, und Komplexe des Eisens und Aluminiums mit Anthocyanen konnten kürzlich von BAYER<sup>5</sup> eindeutig nachgewiesen werden. Somit kann aus dem Verhalten wässriger oder alkoholisch-wässriger Lösungen von Anthocyanen oder Anthocyanidinen bei pH-Änderung nicht ohne weiteres auf das Verhalten der Anthocyane in den Blütenblättern geschlossen werden. Dennoch ist es von Interesse zu untersuchen, ob die Formen (I), (II) und (III) in Anthocyanidin-Lösungen auftreten und in welchen pH-Bereichen sie zu finden sind.

Es kann als gesichert gelten, dass in stark saurer Lösung die Form (I) vorliegt; die Absorptionsspektren solcher Lösungen sind eingehend untersucht worden<sup>5-7</sup>. Dagegen fehlen Angaben über die Spektren in neutraler oder alkalischer Lösung und die Angaben über die Farbumschlagbereiche sind widersprechend. So existiert die Form (II) nach FIESER<sup>8</sup> im pH-Bereich 7 bis 8, nach BAYER<sup>5</sup> liegt sie schon bei pH 4,45 vor und nach KLAGES<sup>9</sup> tritt eine neutrale Form nicht auf. Auf Grund des Elektronengasmodells ist nicht zu verstehen, wie die Form (III) bereits blau sein kann<sup>10</sup>, und es liegt daher nahe zu vermuten, dass an Stelle von (III) die Form (IV), welche besser mesomerie-stabilisiert ist (Grenzstrukturen (IVa), (IVb)), auftritt<sup>9,10</sup>,



<sup>1</sup> R. WILLSTÄTTER und A. E. EVEREST, *Liebigs Ann.* **401**, 194 (1913). – R. WILLSTÄTTER und TH. J. NOLAN, *Liebigs Ann.* **408**, 3 (1915). – R. WILLSTÄTTER und E. K. BOLTON, *Liebigs Ann.* **408**, 42 (1915), siehe insbesondere p. 60.

<sup>2</sup> P. KARRER, ROSE WIDMER, H. HELFENSTEIN, W. HÜRLIMAN, O. NIEVERGELT und P. MONSARRAT-THOMS, *Helv. chim. Acta* **10**, 742 (1927).

<sup>3</sup> R. und G. M. ROBINSON, *J. Amer. chem. Soc.* **61**, 1605, 1606 (1939).

<sup>4</sup> K. SHIBATA, Y. SHIBATA und I. KASIWAGI, *J. Amer. chem. Soc.* **41**, 208 (1919).

<sup>5</sup> E. BAYER, *Chem. Ber.* **91**, 1115 (1958), **92**, 1062 (1959).

<sup>6</sup> S. A. SCHOU, *Helv. chim. Acta* **10**, 907 (1927). – E. SONDHEIMER und Z. J. KERTESZ, *Analyt. Chem.* **20**, 245 (1948).

<sup>7</sup> R. WIZINGER u. CH. MICHAELIDIS, *Helv. chim. Acta* **34**, 1761 (1951).

<sup>8</sup> L. F. und M. FIESER, *Lehrbuch der organischen Chemie* (Verlag Chemie, Weinheim 1960), p. 962.

<sup>9</sup> F. KLAGES, *Lehrbuch der organischen Chemie* (Verlag Walter de Gruyter, Berlin 1958), Bd. 3, p. 172.

<sup>10</sup> H. KUHN, *Fortschr. Chem. org. Naturst.* **16**, 169 (1958), insbesondere p. 174.