
SITZUNGSBERICHTE

1913.
XXXVIII.

DER

KÖNIGLICH PREUSSISCHEN

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

Gesamtsitzung vom 24. Juli.

Mitth. aus der Sitzung der phys.-math. Classe vom 3. Juli.

Ziele vulkanologischer Forschung.

Eine Begründung des Antrages der Berliner Akademie der
Wissenschaften auf Internationalisierung der vulkanologischen
Forschung.

VON W. BRANCA.

Mit einer Tafel.

Sonderabdruck.

Verlag der Königlichen Akademie der Wissenschaften.
In Commission bei Georg Reimer.

(Preis M 2.—)

Ziele vulkanologischer Forschung.

Eine Begründung des Antrages der Berliner Akademie der Wissenschaften auf Internationalisierung der vulkanologischen Forschung.

Von W. BRANCA.

Hierzu Taf. VI.

Der Vulkanismus ist ohne Zweifel die großartigste Naturerscheinung, die wir auf der Erde kennen. Seine äußere Erscheinungsweise ist uns durch zahllose Beobachtungen gut bekannt¹. Aber unsere Erkenntnis des inneren Wesens, der Ursachen des Vulkanismus, ist eine zum großen Teil noch sehr mangelhafte. Das liegt begründet teils in der Schwierigkeit der Erkenntnis von Vorgängen, die sich in der Tiefe eines Gestirnes, speziell hier der Erde vollziehen. Zum anderen Teil liegt das darin, daß gewisse Aufgaben vulkanologischer Forschung überhaupt nur durch internationales Zusammenarbeiten gelöst werden können und daß die Lösung anderer durch ein solches Zusammenarbeiten wenigstens sehr gefördert werden würde.

So war der Gedanke, die Erforschung dieser großartigsten Naturerscheinung der Erde mit vereinten Kräften zu betreiben, ein nahe- liegender und ein guter. Das Verdienst, den ersten Anstoß dazu gegeben zu haben, gebührt Hrn. IMMANUEL FRIEDLÄNDER in Neapel. Dieser hatte schon auf dem internationalen Geologenkongreß zu Stockholm sich bemüht, Unterstützung zu gewinnen für seinen Plan, in Neapel ein internationales Institut für Vulkanforschung zu begründen, und

¹ Wenngleich selbst die neueste Zeit noch uns eine neue Form dieser Erscheinungsweise auf Martinique kennen lehrte. Diese Erscheinungsform mag ja bereits früher wiederholt aufgetreten sein, aber man hat sie doch auf Martinique zum ersten Male in voller Gründlichkeit beobachten können und kennen gelernt; sie mag auch nur dem Grade nach von der gewöhnlichen Erscheinungsform unterschieden sein. Immerhin bildete sie doch ein mehr oder weniger eigenartiges Neues für uns

er hatte in der uneigennützigsten Weise eine große Summe einmalig und einen hohen dauernden Beitrag dafür in Aussicht gestellt für den Fall, daß sich andere finden würden, die gleichfalls Mittel zur Errichtung dieses Institutes geben würden. Hr. FRIEDLÄNDER hatte sich auch an die Berliner Akademie der Wissenschaften gewendet, um für seinen Plan Unterstützung zu finden. Die Akademie hatte jedoch aus mehrfachen schwerwiegenden Gründen dem nicht entsprechen können:

Der Gedanke, nur ein einziges internationales Institut gründen, und es gerade in Neapel gründen zu wollen, mußte als ein nicht glücklicher erkannt werden:

Erstens ist die Zahl der zu lösenden Fragen eine so große, und namentlich sind diese derartig vielseitig, verschiedenartig, daß ein einziges internationales Institut zur Bewältigung derselben ein Schlag ins Wasser sein würde. Selbstverständlich wäre das immer noch besser als gar kein Institut; aber es wäre keine Lösung dessen, was gelöst werden soll.

Zweitens wäre es durchaus verfehlt, dieses eine Institut gerade in Neapel begründen zu wollen, wo schon das Vesuvobservatorium sich befindet. Letzteres könnte durch eine kleine Erweiterung leicht in den Stand gesetzt werden, denjenigen kleinsten Teil aller Aufgaben fördern zu können, für den das neue Institut gerade die Lage nahe einem Vulkane benötigt hätte; wie z. B. die Konstruktion und die Prüfung von Apparaten für das Auffangen der Gase bei Eruptionen.

Drittens sind die Aufgaben zum überwiegend größten Teile allgemeiner Natur und solcher Art, daß sie die Nähe eines Vulkans durchaus nicht nötig machen.

Endlich erschien die vorgeschlagene Organisation dieses, wesentlich durch Geldmittel Privater zu gründenden Instituts, als eine unmögliche, da sie diesen Geldgebern einen großen Einfluß auf das Institut einräumen wollte. Wissenschaftliche Angelegenheiten können aber nur von Sachverständigen beeinflußt und entschieden werden.

Es ergab sich somit die Notwendigkeit einer weit umfangreicheren, großzügigeren Erfassung der Aufgabe, wenn wirklich etwas Großes geleistet werden sollte. Dadurch wird das Verdienst des Hrn. FRIEDLÄNDER nicht geschmälert; und es soll rühmend an dieser Stelle hervorgehoben werden, daß der Genannte nun versuchen will, ganz auf eigne Kosten ein kleines vulkanologisches Forschungsinstitut in Neapel zu gründen.

Aus der Erkenntnis dieser Verhältnisse heraus entstand der Antrag der Berliner Akademie der Wissenschaften bei der Assoziation der Akademien, der auf der Generalversammlung zu St. Petersburg 1913 verhandelt wurde: prüfen zu wollen, »in welcher Weise eine inter-

nationale Förderung der Vulkanforschung zustande kommen könnte und welche Organisation zu diesem Behuf zu schaffen sei«.

Diesem Antrage waren beigetreten die beiden Akademien zu München und zu St. Petersburg.

Die Versammlung der Vertreter der Assoziation der Akademien nahm einstimmig die folgenden Beschlüsse an:

a) »Il y a lieu de nommer une commission chargée de préparer la constitution d'une commission autonome de vulcanologie et de soumettre son travail préparatoire à la prochaine assemblée de l'Association des Académies.

Sont élus membres de la susdite commission: MM. BRANCA, KÖNIGSBERGER, LACROIX, MATTEUCCI¹, ROTHPLETZ, TSCHERNYSHEFF et VERNADSKIJ.

Cette commission entrera en relations, par correspondance directe, avec les différentes Académies membres de l'Association, en les priant de nommer des délégués près la Commission internationale de vulcanologie. Elle est autorisée à s'adjoindre le concours de savants appartenant à des pays non représentés à l'Association des Académies et à se compléter par cooptation. M. BRANCA présentera un rapport sur l'étude internationale des phénomènes volcaniques.«

Die erwählte Kommission ist nur die geschäftsführende. Da sie autonom ist, so wählt sie alle Vulkanologen zu Mitgliedern einer erweiterten Kommission. Sie hatte zu dem Zweck bereits eine große Namenliste zusammengestellt und der Versammlung in Petersburg zur Bestätigung eingereicht. Da es jedoch einer Bestätigung durch die Assoziation nicht bedarf und da zudem die in fliegender Eile in Petersburg zusammengestellte Namenliste erklärlicherweise Fehler und Lücken enthalten mußte, so wurde von der Assoziation nur die autonome Kommission erwählt und letzterer alles Weitere überlassen.

Sie wendet sich daher mit dem vorliegenden Berichte an alle Vulkanologen der Erde und bittet sie, an den Verfasser des Berichtes² möglichst mit Maschinenschrift geschriebene Meinungsäußerungen senden zu wollen auf die Frage, ob sie einverstanden sind:

1. mit einer Internationalisierung der Vulkanforschung,
2. mit der Gründung eines Jahrbuches aller vulkanologischen Ereignisse in der vorgeschlagenen Form (S. 815),
3. mit der Gründung einer mehrsprachigen internationalen Zeitschrift für Vulkanologie in der vorgeschlagenen Form (S. 816),

¹ Hr. MATTEUCCI ist leider schon gestorben. Er müßte daher ersetzt werden durch Hrn. MERCALLI.

² Adresse: Prof. Dr. BRANCA, Berlin N 4, Invalidenstraße 43.

4. mit dem Vorschlage (S. 855), bei ihren betreffenden Regierungen die Errichtung vulkanologischer Forschungsinstitute befürworten zu wollen, soweit solche nicht bereits ins Leben gerufen sind,

5. weitere Ziele vulkanologischer Forschung, außer den im Berichte angegebenen, namhaft zu machen,

6. Verbesserungen der im Berichte gemachten Vorschläge anzugeben.

Der Verfasser wird dann den Inhalt aller dieser ihm zugegangenen Antworten, die möglichst bald erbeten werden, zu einem neuen Berichte zusammenfassen und diesen ebenso wie den ersten jedem einzelnen der Herren zusenden.

Ich erfülle nun den mir erteilten Auftrag, indem ich die in Petersburg gemachten Ausführungen über die Ziele vulkanologischer Forschung, so wie sie mir vorschweben, hier etwas breiter, aber doch in Kürze vorführe und zugleich, teils an der betreffenden Stelle (unter 1. 2. 3. 4), teils zum Schluß, Vorschläge zu machen mir gestatte zur Ausführung einer solchen internationalen Erforschung des Vulkanismus.

Wenn ich aber hier diese Ziele darlege, so wolle man mich wegen des Umfanges derselben nicht uferloser Pläne beschuldigen. Bei einer Darlegung der Ziele müssen eben alle Ziele namhaft gemacht werden, so weit sie als solche zur Zeit klar hervortreten. Daraus folgt ja noch keineswegs, daß alle diese Ziele gleichzeitig und von allen Seiten in Angriff genommen werden sollten. Vielmehr ergibt sich ganz von selbst, daß das nur nacheinander geschehen könnte und daß ein Teil dieser Ziele überhaupt erst durch sehr langwieriges Zusammenarbeiten vieler erreichbar sein würde.

Entsprechend dem Zweck dieser Arbeit: die Aufgaben und Ziele vulkanologischer Forschung vorzuführen, die Notwendigkeit internationalen Zusammenarbeitens zu zeigen, Vorschläge für letzteres zu machen, endlich weitere Kreise für die Gründung vulkanologischer Forschungsinstitute anzuregen — entsprechend diesem Zwecke kann die stattliche Zahl der Aufgaben und Fragen hier nur kurz behandelt werden. Ein Teil derselben findet eine breitere, durch Belege gestützte Darlegung in einer anderen größeren Arbeit¹ von mir, die schon seit mehreren Jahren im wesentlichen beendet ist, und die ich nun fertigstellen und veröffentlichen will. Ich verweise im folgenden mehrfach auf diese Ausführungen. Es erklärt sich dadurch die sehr verschiedene Breite, welche hier den einzelnen Abschnitten zuteil geworden ist.

¹ W. BRANCA, Allgemeiner und spezieller Vulkanismus. Abhandlungen dieser Akademie 1913 oder 1914.

Ich teile die hier zu besprechenden Aufgaben und Fragen der vulkanologischen Forschung in zwei große Gruppen: solche, die wesentlich praktisch-geologischer Natur sind und solche, die wesentlich physikalisch-chemischer bzw. auch rein physikalischer oder rein chemischer Natur sind. Natürlich lassen sie sich aber nicht ganz scharf trennen. Im folgenden gebe ich eine Übersicht über dieselben.

I. Aufgaben und Ziele vorherrschend praktisch-geologischer Natur.

1. Jahrbuch der vulkanischen Ereignisse. Vulkanologische internationale Zeitschrift.
2. Geographische Lage und die Zahl der Vulkane früherer Zeiten in kartographischen Darstellungen.
3. Kartographische Darstellung der stofflichen Natur der Schmelzherde (gehört natürlich auch in die Abteilung II, da es sich um chemische Untersuchungen handelt).
4. Kartographische Darstellung des Umfanges der Schmelzherde.
5. Gezeitenvulkanismus in früheren Zeiten.
6. Vulkanoglaziale Bildungen früherer Zeiten.
7. Eiserne Lavaströme.
8. Hebung der Erdrinde durch Magma.

9—12 Spaltenfragen.

9. Selbstbefreiung des Magmas durch Aufexplodieren.
10. Selbstbefreiung des Magmas durch Aufbröckeln.

II. Aufgaben und Ziele vorherrschend physikalisch-chemischer Natur.

11. Selbstbefreiung des Magmas durch Aufschmelzen,
 - a) durch Gase,
 - b) durch Magma,
 - c) geothermales Einschmelzen.
12. Plastischwerden der Silikatgesteine unter hohem Druck.
13. Magnetische und Schwerestörungen.

14—16 Gasfragen.

14. Die vulkanischen Gase.
15. Wasserfrage.
16. Bituminöse Eruptivgesteine.
17. Entstehung des Magmas durch Kondensation von Gasen.
18. Radioaktive Vorgänge und Vulkanismus.
19. Differentiation.

- 20. Diffusion fester Körper.
- 21. Schmelzversuche und Ausscheidungsfolge.
- 22. Systematik der Gesteine.

Nebenprodukte des Vulkanismus.

- 23. Vulkanische Beben.
 - 24. Magmatische Beben.
 - 25. Regional Metamorphismus.
 - 26. Kontakt Metamorphismus.
 - 27. Thermen.
-
- 28. Vulkanismus auf anderen Gestirnen.

I. Aufgaben und Ziele¹ von vorherrschend praktisch-geologischer Natur.

1. Ein mehrsprachiges² Jahrbuch aller Vulkanausbrüche; Gründung einer mehrsprachigen Zeitschrift für internationale Vulkanforschung.

Ohne weiteres ist klar, daß, wie bei den Erdbeben, eine solche Zusammentragung aller vulkanischen Ausbrüche in jedem Jahre eine Notwendigkeit ist; und ebenso ist klar, daß sie nur international einen vollen Erfolg erzielen kann. Wiederholt haben einzelne Forscher versucht, über die vulkanischen Erscheinungen eines Jahres Bericht zu geben. Es liegt jedoch auf der Hand, daß einem solchen Unternehmen von vornherein der Stempel der Unvollkommenheit aufgedrückt werden muß; denn wie soll der einzelne in den Besitz der notwendigen zahlreichen Berichte und Untersuchungen über die vulkanischen Erscheinungen gelangen, die sich auf der ganzen Erde im Laufe eines Jahres vollzogen haben. Er wird zum großen Teil auf Zeitungsberichte angewiesen sein; und wieviel Irriges Zeitungsberichte in naturwissenschaftlichen Dingen bringen, das ist ja allgemein bekannt.

Vorschläge zur Ausführung. Nur auf internationalem Wege kann hier etwas annähernd Vollkommenes geschaffen werden. Selbstverständlich wäre es zu dem Zweck notwendig, eine Zentralstelle zu schaffen, an welche von allen Regierungen bzw. vulkanologischen In-

¹ In einer demnächst in den Abhandlungen dieser Akademie erscheinenden größeren Arbeit »Über allgemeinen und speziellen Vulkanismus« werde ich unter anderem auch einen Teil der hier nur in Kürze behandelten Fragen und Ziele ausführlicher darlegen.

² D. h. nach Belieben in deutscher, englischer, französischer, italienischer Sprache geschriebene Berichte.

stituten die Berichte und Untersuchungen über die in ihren Reichen stattgefundenen vulkanischen Ereignisse eingesendet würden und von der aus dann das fertige Jahrbuch verschickt würde. Aber das braucht keineswegs in der Weise zu geschehen, daß von allen Seiten her die natürlich in den hauptsächlichsten Kultursprachen verfaßten Manuskripte der Berichte an die Zentralstelle eingeschickt würden. Vielmehr könnte jedes Volk bzw. Institut den Bericht selbst drucken lassen und in der erforderlichen Anzahl von Exemplaren dann an die Zentralstelle einsenden. Diese würde somit eigentlich nur das buchbinderische Geschäft und den Versand sowie den Verkauf der Jahrbücher zu bewirken haben.

Wahrlich kein Geschäft, bei dem nennenswerte Ehre einzuheimen wäre, so daß also keinerlei internationale Eifersucht einem solchen Plan sich entgegenzustellen brauchte. Sogar als Erscheinungsort dieses Jahrbuches könnten sämtliche Hauptstädte aller derjenigen Kulturnationen vermerkt werden, von welchen letzteren Berichte eingeliefert würden; und nur als »Vertriebsort« müßten die eine Stadt und dazu die betreffende Buchhandlung namhaft gemacht sein.

Zur Ausführung dieses Planes wäre es nur nötig, ein für allemal ein bestimmtes Format, bestimmte Lettern und bestimmtes Papier zu vereinbaren. Die Paginierung könnte jeder Staat für sich in seinem Berichte, von 1 angefangen, vornehmen, ohne daß Schwierigkeiten beim Zitieren solcher Berichte daraus erwachsen würden. Man würde also beispielsweise zitieren: »Französischer Bericht S. 36« oder »Italienischer Bericht S. 36« oder »Japanischer Bericht« S. 36 und trotz der gleichlautenden Seitenzahlen würde niemand in Verlegenheit sein, wo das betreffende Zitat in dem betreffenden Jahrbuche zu finden wäre. Die Anordnung der Berichte müßte in alphabetischer Reihenfolge geschehen, nach den Namen der Staaten. Zu bestimmtem Termine müßte der Band abgeschlossen werden, so daß diejenigen, welche allzu säumig in der Einsendung der Berichte wären, ausfallen und erst im nächsten Jahre dem neuen Jahresbande vorgedruckt werden müßten.

Ganz dieselben Überlegungen gelten bezüglich der Herausgabe einer »Zeitschrift für internationale Vulkanforschung« — natürlich mit gleichlautendem Titel in englischer, französischer, italienischer Sprache —, deren Gründung mir absolut notwendig erscheint, um die Zersplitterung der Literatur in so zahlreichen Zeitschriften zu beenden und gleichzeitig das Gefühl der Zusammengehörigkeit der Vulkanologen zu stärken. Auch hier könnte der Druck am besten in jedem einzelnen Lande erfolgen¹.

¹ Oder durch Einsendung der mit Maschinenschrift geschriebenen Manuskripte, falls das nicht beliebt würde.

Dasselbe würde auch von der Herstellung der nötig werdenden Karten gelten, von denen unter 2, 3, 4, 5, 13 die Rede sein wird.

Man würde somit bei Innehaltung dieses Planes trotz internationalen Zusammenarbeitens und trotz scheinbarer Zentralisation der Ergebnisse dennoch eine vollkommene Dezentralisation schaffen, so daß ein Grund zu Eifersüchteleien, welche diesem wie jedem internationalen Unternehmen nur zum Verderb gereichen, so gut wie völlig ausgeschaltet sein würde.

Über submarine Ausbrüche müßte natürlich gleichfalls von jedem Staate, dessen Seeleute eine solche Erscheinung beobachtet haben, in dem Jahrbuche berichtet werden. Das feste Land mit seinen Vulkanen macht ja nur ungefähr ein Drittel der Erdoberfläche aus; volle zwei Drittel sind unseren Blicken durch das Meer verhüllt. Nur da also, wo auf dem Meeresboden sich so mächtige Vulkanbauten aufgeschüttet haben, daß sie als Inseln über dem Meere aufragen, wissen wir von vulkanischen Vorgängen im Meere. In allen übrigen Fällen können submarine Ausbrüche nur durch Seeleute festgestellt werden. Freilich würde auch hierbei nur sehr Unvollständiges geleistet werden können; denn ganz ebenso wie auf dem Festlande die Wagen der Regel nach nur auf festen, bestimmten Straßen fahren, nicht aber querfeldein, so pflegen auch die Schiffe meist nicht meerfeldein, sondern auf bestimmten Straßen, den kürzesten, bezüglich sturm- und eissichersten Wegen zu fahren. Große Teile des Meeres würden mithin in dieser Beziehung doch nur durch zufällige Beobachtungen von Schiffen, die aus irgendeinem Grunde von diesen Straßen abwichen, erforscht werden können. Indessen ist das kein Grund, deswegen die ganze Sache zu unterlassen.

Vorschläge zur Ausführung. Der nächstliegende Gedanke, daß jeder Staat die Logbücher der unter seiner Flagge fahrenden Schiffe für diese Jahresberichte auf solche vulkanologischen Erscheinungen hin durchforschen lassen sollte, würde ein schwer ausführbarer sein. Leicht dagegen würde es sich machen lassen, daß jeder Kapitän eines Kriegsschiffes und jeder Kapitän eines großen Reeders die Dienstvorschrift erhielte, über etwa von ihm beobachtete vulkanologische Ereignisse einen genauen Bericht abzufassen und einzusenden; und es müßten hierbei natürlich auch gleichzeitig die Seebeben berücksichtigt werden.

Notwendig wäre nur, daß jede Regierung ihren Kapitänen einen Bogen mit bestimmten Fragen und bestimmten Anweisungen zur Beobachtung übergäbe, deren Wortlaut von geologischer Seite und ebenfalls international ausgearbeitet und festgestellt werden müßte.

Wenn man nun ferner in die Vorträge, welche von allen Seeleuten, die Steuermann und Kapitän werden wollen, auf den Seemannsschulen

und Marineakademien obligatorisch eine Belehrung über das Wesen solcher Vulkanausbrüche und Seebeben einfügen würde, die wahrlich nicht länger als eine Stunde in Anspruch zu nehmen brauchte und deren Inhalt ebenfalls international und in übereinstimmender Weise von Geologen ausgearbeitet werden müßte, dann würde es vermutlich nicht lange dauern, bis sämtliche Kapitäne, auch der kleinsten Fahrzeuge, gern und freiwillig Berichte über derartige Erlebnisse an ihre Regierungen nach Beendigung der Fahrt einsenden würden, ohne daß man zu dem mühseligen Studium der Logbücher zu greifen brauchte. Nur soweit man submarine Ausbrüche vergangener Jahre — was ja sehr wünschenswert wäre — noch feststellen wollte, würde man zu dem Studium der alten Logbücher greifen müssen.

Es liegt auf der Hand, daß auch dieses Ziel vulkanologischer Forschung, soweit dies überhaupt erreichbar ist, nur auf internationalem Wege erreicht werden kann.

2. Darstellung der geographischen Lage der Vulkane zum Meere und zu Gebirgen und ihrer Häufigkeit in früheren Zeiten der Erdgeschichte.

Mit einer Probetafel (Tafel VI).

Für die Jetztzeit sind wir genau unterrichtet über die geographische Lage der Vulkane und wissen, daß sie heute nur selten im Innern der Festländer liegen, dagegen wesentlich an Kettengebirge, an den Rand der Senkungsgebiete und daher auch ganz ungefähr an die Nähe der Küsten gebannt sind. Es entsteht nun aber die Frage, wie z. B. in den verschiedenen Phasen der Tertiär-, der Jura-, der Kreidezeit usw. bis zu den ältesten Zeiten der Erdgeschichte die geographische Lage der Vulkane gewesen ist, ob die Vulkane damals ebenfalls zu Faltengebirgen, Senkungsfeldern, Meeresküsten so ausgesprochene Beziehungen gehabt haben, wie das heutzutage der Fall ist, oder ob ihre Lage früher einmal eine freiere, unabhängigere gewesen ist.

Eine solche Frage ist sicher nicht unberechtigt; denn wie in früheren Entwicklungsstadien eines Gestirnes die äußere Erscheinungsweise des Vulkanismus eine andere gewesen sein muß bzw. kann, als in späteren Entwicklungsstadien des Gestirnes, so muß bzw. kann auch die Ursache des Vulkanismus früher¹ eine andere gewesen sein als später.

¹ Vgl. darüber meine auf S. 815 in Anmerkung 1 zitierte Arbeit.

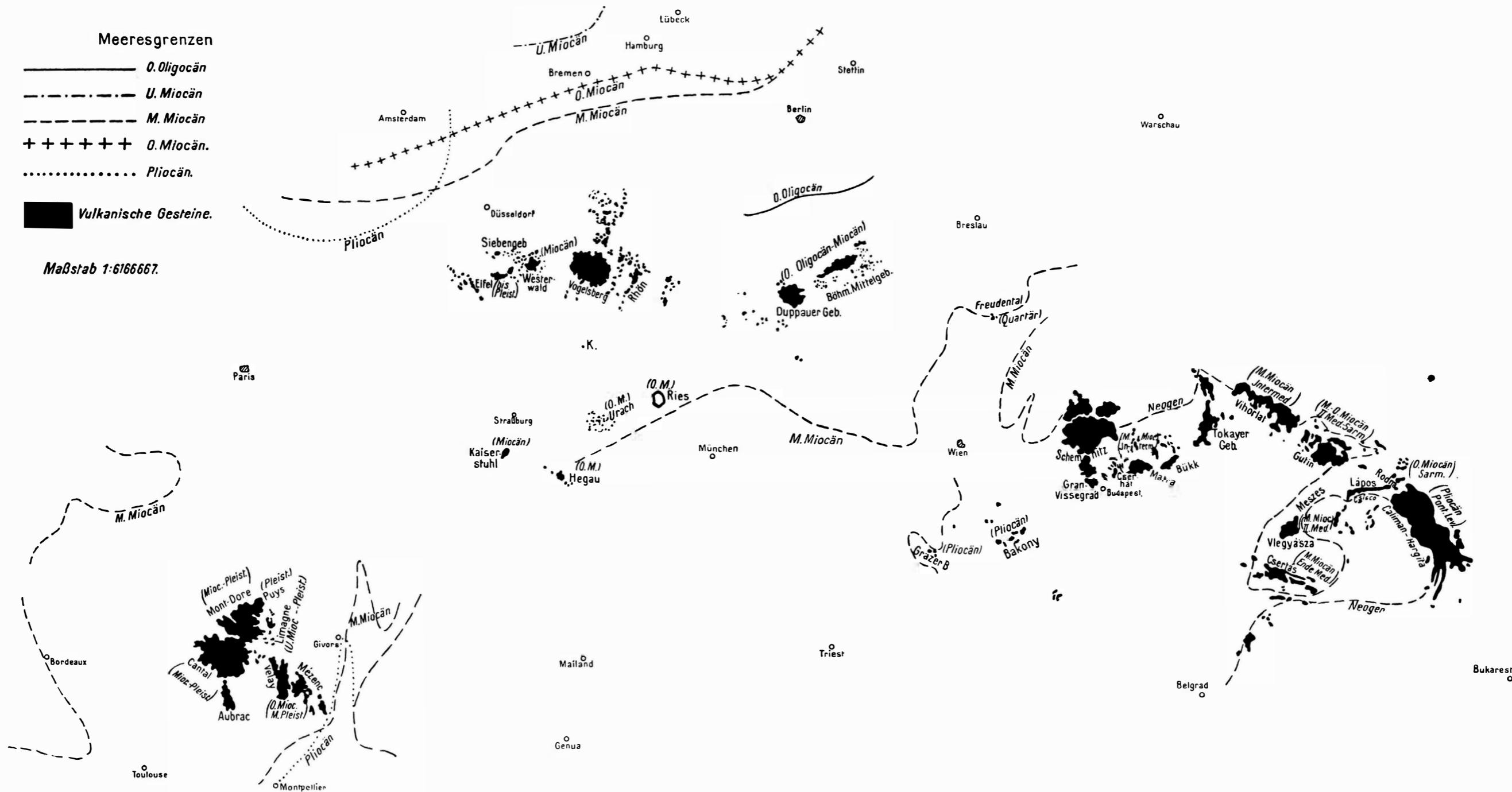
Vorschläge zur Ausführung. Die Lösung dieser Aufgabe ist natürlich eine schwere und sie wird eine immer schwerere, um je ältere Zeiten der Erdgeschichte es sich handelt. Denn einmal ist das geologische Alter der Vulkanausbrüche früherer Zeiten bisher vielfach leider nur ungenügend festgestellt, und zweitens sind die genauere Lage und der Verlauf der Meeresküste in den jedesmaligen gleichen früheren Zeiten schwer festzustellen. Beides ist also eine schwere Aufgabe, welche die Arbeit erfahrener Geologen erfordert; und sie ist wiederum eine Aufgabe, die nur auf internationalem Wege, wenn alle Kulturvölker mitarbeiten wollen, Aussicht hat, gelöst zu werden. Jeder Staat würde die Verpflichtung übernehmen müssen, das Alter der ihm zugehörigen früheren Vulkane, soweit dasselbe nicht schon genau bekannt ist, durch erneute Untersuchungen genau feststellen und gleichzeitig Karten obengenannter Art anfertigen zu lassen, welche die Lage der damaligen Küstenlinie usw. und der damaligen Vulkane angeben.

Seit Jahren habe ich mich bemüht, meine Schüler für diese Aufgabe zu interessieren und einen kleinen Teil der letzteren zu lösen. Indessen, trotz mehrfacher Ansätze zu solchen Arbeiten, ist bisher noch jeder meiner Schüler zurückgewichen vor den Schwierigkeiten der Aufgabe; nur ein einziger¹, Frl. TÄUBER, hat sie für einen Teil europäischer Vulkane durchgeführt. Ich gebe anbei zur Veranschaulichung dessen, was ich meine, und zum Beweise, daß die Ausführung möglich ist, die dieser Arbeit beigegebene Karte wieder (Taf. VI).

Selbstverständlich müßte auch hier der Maßstab, in dem diese Karten zu zeichnen wären, in übereinstimmender Weise gewählt werden, so daß sich die vielen Einzelkarten schließlich einmal — nach langer Zeit, denn das ist eine weitaussehende Aufgabe — zu einer Gesamtkarte leicht vereinigen ließen.

Gleichzeitig würde durch diese überaus umfangreichen und langwierigen Arbeiten eine andere Aufgabe der Geologie gelöst werden: wie die Geologie ganz im allgemeinen die wichtigste Grundlage der Geographie ist, so ist es die Aufgabe speziell der historischen Geologie, direkt in das Gebiet der Geographie hineinzugreifen und geographische Karten der verschiedenen vergangenen Zeitabschnitte in der Geschichte unseres Erdballs zu entwerfen. Während die Geographie also die geographische Karte nur der heutigen Erde zu schaffen hat, so hat die historische Geologie die zahlreichen, immer wieder verschieden aussehenden geographischen Karten der zahlreichen Zeitab-

¹ ANTONIE TÄUBER, Lage und Beziehungen einiger tertiärer Vulkangebiete Mitteleuropas zu gleichzeitigen Meeren oder großen Seen. Dissertation, Berlin 1913, Neues Jahrbuch für Mineralogie, Beilageband XXXVI, S. 413—490.



Aus A. TÄUBER: Lage und Beziehungen einiger tertiärer Vulkangebiete Mitteleuropas zu gleichzeitigen Meeren oder großen Seen. Neues Jahrbuch f. Min., Geol., Pal. Beil.-Bd. XXXVI, 1913, S. 413.

W. BRANCA: Ziele vulkanologischer Forschung.

schnitte der Erdgeschichte zu entwerfen¹. Daß zur Erreichung dieses Idealzieles lange Zeit nötig ist, das liegt auf der Hand. Eben diese selben geographischen Karten vergangener Zeiten würden dann dazu dienen, um die geographische Lage der derselben Zeit angehörigen früheren Vulkane festzulegen.

Ganz also, wie die historische Geologie uns das Nacheinander der verschiedenen Faunen und Floren kennen lehrt, die allmählich in der Erdgeschichte aufgetreten sind, so würde diese historische Vulkanologie uns die verschiedenen, nacheinander entstandenen Vulkangesellschaften, oder Vulkanfaunen, wenn ich so sagen darf, und ihre Lage kennen lehren. Für Europa läge diese Aufgabe verhältnismäßig weniger schwierig, weil wir hier wesentlich nur zwei größere Eruptionszeiten haben, die tertiäre und paläozoische. Für andere Kontinente dagegen, in denen auch in mesozoischen Zeiten eine reichere vulkanische Tätigkeit sich zum Teil entfaltet hat, wäre die Aufgabe eine umfangreichere.

Diese paläogeographischen Karten der verschiedenen Zeitalter mit den eingezeichneten Vulkanen würden aber zugleich auch Bilder von der Häufigkeit der Vulkane geben, die ja zu verschiedenen Zeiten eine so überaus verschieden große war.

3. Stoffliche Natur der Schmelzherde.

Von verschiedenen Forschern ist gezeigt worden, daß trotz der sinnverwirrenden Verschiedenartigkeit der Eruptivgesteine dennoch stoffliche Zusammengehörigkeiten derselben erkennbar sind, so daß sich diese Vielheit in einige wenige große, blutsverwandte petrographische Sippen oder Typen oder Provinzen einreihen läßt. So hat BECKE seine beiden Sippen, die atlantische und die pazifische aufgestellt; bei gleichem SiO_2 -Gehalt die erstere reicher an Alkalien und ärmer an Ca, Mg, Fe als die letztere, bei der sich das umgekehrt verhält.

In dieser stofflichen Zusammengehörigkeit der Gesteine an der Erdoberfläche spiegelt sich die ihrer Schmelzherde in der Tiefe wieder,

¹ Die Aufgabe der historischen Geologie ist ja, so wie ich sie auffassen möchte, eine riesengroße: sie soll uns die Entwicklungsgeschichte der Tier- und Pflanzenwelt, die Tier- und Pflanzengeographie aller vergangenen Zeiten, die Paläogeographie und die Paläoklimatologie allmählich enthüllen — soweit sie, namentlich in bezug auf die beiden letzteren Punkte gilt diese Einschränkung sehr, dazu eben imstande ist. Paläogeographische Karten werden immer nur die Küsten der Kontinente, Gebirge, Süßwasserbecken, Vulkane angeben können, also gegenüber den geographischen Karten der Jetztzeit überaus ärmlich, und in bezug auf den Verlauf der Küstenlinien auch sehr ungenau sein. Und trotzdem wäre ein internationales Zusammenarbeiten, auch für die historische Geologie, außerordentlich wünschenswert.

und das gilt von der Jetztzeit ebenso wie von den vergangenen Erdperioden; nur mit dem Unterschiede, daß da wo heute der pazifische Typus liegt, er durchaus nicht zu allen Zeiten der Erdgeschichte gelegen hat.

Wenn man daher diese Verhältnisse auch wieder kartographisch, und zwar für jeden Zeitabschnitt der Erdgeschichte darstellen wollte, indem man den einen Typus mit dieser, den anderen mit jener Farbe kennzeichnet, und die der Übergangsgesteine zwischen beiden Gruppen mit einer dritten Farbe, so würde man ein Bild von der stofflichen Zusammengehörigkeit, Lage und Umgrenzung dieser drei Typen der Schmelzherde in der Tiefe und zu den verschiedenen Zeitabschnitten erhalten.

Oder sollten hier nicht zwei große **getrennte** Schmelzherde vorliegen, sondern sowohl der atlantische wie der pazifische Typus nur Differenzierungsunterscheidungen eines allgemeinen basaltischen Urstammagmas sein (DALY)? Indessen auch dann wäre die kartographische Darstellung dieser Verhältnisse, also dieser beiden Spaltmagmen, in ihren zum Teil wohl sehr verschlungenen Grenzlinien eine lohnenswerte, interessante Aufgabe.

4. Die Feststellung der Größe der Schmelzherde.

Über die Frage, ob große, weithin ausgedehnte Schmelzherde oder kleine, isolierte, jetzt vorhanden sind, sind die verschiedenen Forscher nicht gleicher Ansicht. Wahrscheinlich wird es an gewissen Stellen große, an anderen Stelle kleine geben. In vergangenen Zeiten der Erdgeschichte aber wird sich für die verschiedenen Stellen der Erde wohl Verschiedenartiges in dieser Beziehung ergeben. Es werden, wenigstens zum Teil, in größerer Tiefe vermutlich größere, in geringerer Tiefe aber kleinere Schmelzherde vorhanden sein; letztere die nach oben hin ausgehenden Ausläufer der ersteren.

Vorschläge zur Ausführung. Wie die unter 3. genannte Aufgabe, so läßt sich auch diese vierte nur auf internationalem Wege lösen, indem jeder Staat bzw. jedes vulkanologische Institut (siehe am Schluß) sich verpflichtet, die in seinem Gebiete auftretenden vulkanischen Gesteine, soweit sie noch nicht chemisch untersucht sind, einer solchen Untersuchung zu unterwerfen und dann in der unter 3. erwähnten Weise kolorierte Kartenbilder anfertigen zu lassen, aus denen die stoffliche Zugehörigkeit und die Größe der Schmelzherde sich ergeben.

Indem man das aber weiter für die verschiedenen Zeitalter durchführt, ergeben sich Bilder, aus denen sich erkennen läßt, ob ein Schmelzherd durch längere Zeitperioden hindurch dieselbe stoffliche

Zugehörigkeit behalten oder verändert hat und ob er an einer und derselben Stelle der Erde persistiert hat, oder schon nach kurzer Zeit erschöpft war und durch andere Herde an anderen Stellen abgelöst wurde.

Für die Erkennung der Größe wie der Zusammengehörigkeit der Schmelzherde ist bekanntlich auch von großer Wichtigkeit das Auftreten bestimmter, für ein größeres Gebiet kennzeichnender Mineralien. Wenn z. B. über Hunderte von Kilometern Erstreckung hin hier in basischen Gesteinen Chrom und Nickel auftreten, so muß man bekanntlich notwendig daraus folgern, daß hier ein entsprechend ausgedehnter Schmelzherd lag, aus dem diese Stoffe zutage gefördert wurden. Auch wenn sich ergibt, daß das eine Mehrzahl getrennter Herde gewesen sein dürfte, so spricht dann doch die große Wahrscheinlichkeit dafür, daß diese getrennten Herde nur die oberen Ausläufer eines einzigen, großen, tiefer gelegenen Schmelzherdes waren. Ganz dasselbe gilt bezüglich des Auftretens von Chromeisen in anderen ausgedehnten Gebieten, von Platin an wieder anderen, von Zinn in über weite Flächen hin verbreiteten und an entfernt voneinander liegenden Orten auftretenden Graniten, von Diamanten in auf langer Strecke hin verfolgbaren vulkanischen Tuffen Südafrikas.

Es ist hierbei auch nebensächlich, ob diese akzessorischen Mineralien gleich bei der Bildung der betreffenden Gesteine entstanden sind, also im Magmaherde vorhanden waren, oder ob sie erst später, also postvulkanisch, durch Sublimation bzw. auf wässerigem Wege in das Gestein gebracht worden sind. Gase sind ja ebensowohl ein Bestandteil des Magmas wie die anderen Stoffe desselben. Sind daher Gase ganz bestimmter Art, z. B. zinnhaltige Exhalationen; auf bestimmten Gebieten granitischer Gesteine postvulkanisch aufgestiegen, so spricht doch auch das dafür, daß sie einem bestimmten Herde entströmt sind.

Daß die möglichst genaue Lösung dieser Aufgabe nur durch internationales Zusammenarbeiten aller erreicht werden kann, ist ohne weiteres klar. Die Aufgabe ist so groß und so schwer, sie erfordert eine solche Detailkenntnis jedes einzelnen Gebietes, wenn sie hinausgehen soll über eine oberflächliche, ungenau begrenzte Darstellung, daß nur ein Zusammenarbeiten aller Kulturvölker nach derselben Richtung hin zum Ziele führen kann.

Daß diese Arbeiten sehr langwierig sein werden, ändert nichts an der Tatsache, daß sie notwendig sind für die Erkenntnis der vulkanischen Verhältnisse jetziger wie früherer Zeiten.

Daß sie ferner für frühere Zeiten nur angenähert gelöst werden können, weil durch Erosion bereits große Massen abgetragen und verschwunden sind, ist gleichfalls ein Übelstand, der aber nicht davon

abhalten darf, derartige Karten zu machen. Läßt sich denn bei der Herstellung der bisher gebräuchlichen geologischen Karten irgendjemand deswegen davon abhalten, weil die Sedimentärformationen, namentlich die älteren, heute ja doch nicht mehr denselben Umfang einnehmen, den sie früher eingenommen haben? Gewiß, die heutigen geologischen Karten sollen ein Bild nur der jetzigen Verbreitung der Formationen geben, jene Karten aber ein Bild der ehemaligen Verbreitung gewisser Dinge; darin liegt ein Unterschied. Aber deswegen soll man sich nicht abschrecken lassen.

Meiner Ansicht nach müßten alle diese vulkanologischen Karten jedoch nur die vulkanischen Gesteine, aber nicht auch die anderen, also Sediment-, organogene und zum Teil metamorphe Gesteine, bzw. Formationen wiedergeben. Der Platz für diese drei letzteren Arten von Gesteinen müßte daher, um ihn nicht unschön weiß zu lassen, mit einer hellen indifferenten Farbe versehen werden. Erst dann würden die Verhältnisse dieser Eruptivgesteine in ein klares Licht gerückt werden. Bei den gegenwärtigen geologischen Karten ist durch die sehr vielen Farben, welche die Sedimentär- usw. Gesteine beanspruchen, ein so überaus farbiges Bild das Ergebnis, daß sich diese vulkanologischen Verhältnisse aus einem so farbenreichen Bilde unvergleichlich viel schlechter hervorheben, als aus einem einfarbigen Hintergrunde.

Die Herstellung von Kartenbildern ist für diese unter 3 und 4, wie auch für die unter 2, 5, 13 genannten Aufgaben eine Notwendigkeit, wenn die dort in Rede stehenden Verhältnisse uns klar vor Augen treten sollen. Kartographische Darstellung zwingt uns zu dem, was man »Farbe bekennen« nennt; und darum ist sie ein unvergleichliches Mittel, das uns zur Klarheit führt.

Ich gebe gern zu, daß die metamorphen Gesteine große Schwierigkeiten machen werden insofern, als unter ihnen eine ganze Anzahl von Eruptivgesteinen verborgen liegt, die dann als solche natürlich zur Darstellung kommen müßten; denn ob ein Eruptivgestein nachträglich verändert worden ist und in welchem Grade die Veränderung sich desselben bemächtigt hat, das ist für diese Frage, bei der es sich um die Natur und Größe der Schmelzherde und die Verbreitung der Eruptivgesteine zu den verschiedenen Zeiten handelt, natürlich nebensächlich. Indessen, diese Schwierigkeiten müssen eben überwunden werden, so gut sich das machen läßt, d. h. soweit sich eine Entscheidung über die Herkunft des metamorphen Gesteines in jedem einzelnen Falle geben läßt. Schwierigkeiten ergeben sich, wie gesagt, auch bezüglich der Darstellung der Sedimentärformationen, ohne daß man sich deswegen davon abschrecken läßt.

5. Gezeitenvulkanismus.

Eine weitere Frage ist die, ob durch Gezeitenwirkung zu irgendeiner Zeit die Verteilung der Vulkane auf Erden beeinflusst worden ist. Die Höhe der Wasserflut beträgt auf der Erde, da wo der Mond im Zenit steht, nur 6 m; da nun Gesteine ein rund 3 mal so großes spezifisches Gewicht als Wasser besitzen — ihr Magma ist natürlich etwas leichter —, so müßte die Höhe einer Magmaflut jedenfalls entsprechend niedriger sein. Es kann daher heute nicht daran gedacht werden, daß magmatische Gezeitenbildung bei der Entstehung der Vulkane mitgewirkt habe, sich also bei ihrer geographischen Lage aussprechen könne; selbst wenn auch, wie SCHNEIDER betont, eine gewisse Häufung der Vulkane in einer äquatorialen Zone, die sich 40—60° nach Norden und Süden erstreckt, zu erkennen ist.

Es unterliegt indessen keinem Zweifel, daß in früheren Zeiten der Erdgeschichte — wie überhaupt in den frühen Jugendstadien anderer Gestirne — ein Vulkanismus durch Gezeitenbildung des Magmas unter Umständen bestanden haben kann. Die Höhe der Flut wächst im Kubus der größeren Annäherung. Wenn daher F. G. H. DARVIN Recht haben sollte mit seiner Ansicht, daß Mond und Erde früher einander sehr viel näher gestanden haben, dann könnte natürlich in früheren Zeiten die Verteilung der Vulkane auf der Erde (und auf dem Monde) durch Gezeitenbildung stark beeinflusst gewesen sein. Freilich auch das nur unter der Voraussetzung, daß die Erde damals, als ihr der Mond so einflußreich nahe war, bereits eine Rinde gehabt hat; denn wenn sie damals noch gasförmig oder doch nur feuerflüssig gewesen sein sollte, so würde natürlich jede Spur dieses Gezeitenvulkanismus wieder verwischt worden sein.

Auch für diese Frage würden uns jene durch internationales Zusammenarbeiten gewonnenen Kartenbilder sofort eine Beantwortung ermöglichen.

6. Vulkanoglaziale Bildungen im Paläozoikum.

Namentlich auf Island haben sich eigenartige Verhältnisse dadurch gebildet, daß in vergletscherten Gebieten Vulkanausbrüche erfolgten, die nicht das Eis durchbrachen, sondern auf dem Boden des Eises sich vollzogen. Dadurch entstanden zugleich gewaltige Massen von Schmelzwasser, so daß unter bzw. in dem Eise glazial-vulkanische Ablagerungen sich bildeten, halb Untergrundmoräne, halb vulkanischer Natur.

Es entsteht durch das Schmelzen ein »Jökullhlaup« (Gletscherlauf); dieser reißt die vulkanischen Massen, die in seinen Bereich kommen,

mit sich fort und bildet daraus »Jökullhlaup-Sedimente«, von denen die Grundmoräne bedeckt wird. Nach beendeter vulkanischer Tätigkeit lagern sich neue Eismassen und deren Moränen darüber. Das kann sich wiederholen, sodaß an dem betreffenden Orte scheinbar mehrere Grundmoränen vorhanden sind, die durch scheinbar interglaziale vulkanische Jökullhlaup-Sedimente getrennt werden. Es kann aber auch an dem betreffenden Orte die Grundmoräne durch den Jökullhlaup ganz fortgetragen werden, so daß die Jökullhlaup-Sedimente direkt den Felsboden unter dem Gletscher bedecken.

Von untergeordneter Bedeutung, aber doch vielleicht auch noch in die Kategorie vulkanoglazialer Ablagerungen zu rechnen ist die Erscheinung, daß, wie z. B. in den Anden beobachtet wurde, ein bis zum Gipfel hinauf vergletscherter oder schneebedeckter Vulkan plötzlich große Aschenmassen auswirft, unter deren hoher Temperatur Eis und Schnee schnell schmelzen und Schlammtuffströme erzeugen.

Gegen das Ende der paläozoischen Ära vollzogen sich einerseits große Vulkanausbrüche, anderseits ausgedehnte Vergletscherungen, deren Moränen noch heute weiteste Ausdehnung auf der südlichen Halbkugel besitzen. Die Frage muß daher entstehen, ob sich nicht lokal auch damals ebensolche glazial-vulkanischen Ablagerungen gebildet haben.

7. Eiserne Lavaströme.

Wir kennen mit Sicherheit nur Lavaströme aus wesentlichem Silikatmagma. Ob aber auch eiserne Lavaströme wirklich, wenn auch als überaus große Seltenheit an die Tagesfläche getreten sind, wie STUTZER und GEIJER gegenüber dem mit Quarzporphyr zusammenliegenden Magnetit in Lappland meinen möchten — diese Frage ist wahrlich allseitiger Beachtung wert. Würde es sich doch, falls sich das bewahrheiten sollte, um einen Gruß aus größerer Tiefe der Erde handeln, als ihn die Vulkane sonst zu senden vermögen, aus der Tiefe, in der sich der Eisenkern der Erde findet.

Das spezifische Gewicht des Eisens ist 7.8; im geschmolzenen Zustande freilich nur 6.6; immerhin aber würde Eisenmagma doch über doppelt so schwer als Silikatmagma sein. Darin liegt die große Schwierigkeit, das Dasein von eisernen Lavaströmen begreifen zu können. JOHANNSEN sieht denn auch, in allerdings sehr viel kleineren aber auch stromähnlichen Eisenmassen im mittleren Schweden nur das Ergebnis weitestgehender Differentiation.

Internationale Untersuchung und Diskussion wären hier wie bei der nächsten Frage in Ansehung der großen Wichtigkeit dieser Fragen wohl zu wünschen.

8—12. Spaltenfrage der Vulkane.

Ich komme nun zu der überaus wichtigen Frage: Wer eröffnet den vulkanischen Massen den Ausweg aus der Tiefe zur Tagesfläche? Die Antwort lautete im Anfang des vorigen Jahrhunderts bekanntlich dahin, daß die vulkanischen Massen das selbst täten, indem sie aus eigener Kraft die Erdrinde hochhoben.

Der Widerstand gegen diese Anschauung führte dann zu der diametral entgegengesetzten, daß die vulkanischen Massen ohnmächtig seien und nur da emporsteigen könnten, wo ihnen eine gewaltigere Kraft, die gebirgsbildende, die Auswege öffne.

Nun aber ist auch gegen diese neue Anschauung der Widerstand erfolgt. Nicht weniger als vier verschiedene Hilfsmittel sind nacheinander namhaft gemacht worden, mit deren Hilfe dennoch eine Selbstbefreiung des Magmas erfolgen könne; mindestens durch den oberen Teil der Erdrinde; denn im unteren könnte ja trotzdem der Aufstieg auf offenen Spalten erfolgen, so daß dann unten eine Abhängigkeit, oben eine Unabhängigkeit von präexistierenden Spalten vorkommen könnte. Damit stehen wir vor sechs verschiedenen Fragen, deren Beantwortung durch gemeinsames Forschen aller in derselben Richtung geschehen sollte. Es handelt sich um Selbstbefreiung durch Aufexplodieren, Aufbröckeln, Aufschmelzen der Gase, Aufschmelzen des Magmas; und es schließen sich an die Fragen nach dem Plastischwerden der Gesteine durch Druck und nach der Fähigkeit des Magmas, die Erdrinde hochzuheben.

8. Die hebende Wirkung des Magmas auf die Erdrinde.

Man hat in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts dem Magma die Tätigkeit zugesprochen, die Erdrinde hochzuheben, sogenannte Erhebungskrater zu bilden. Später hat man diese Ansicht völlig verworfen. Es sind jedoch von verschiedenen Seiten in neuerer Zeit wieder Beweise dafür geltend gemacht worden, daß vulkanische Massen dennoch die Kraft haben können (also nicht immer müssen), die Erdrinde hochzuheben und auf solche Weise rundliche Berge mit mantelförmiger Lagerung der Schichten zu bilden oder diese Schichten gar in Falten zusammenzuschieben.

Diese Frage steht in enger Beziehung zu der anderen, ob das Magma imstande ist, in der Tiefe Intrusionen selbständig zu bilden¹,

¹ W. BRANCA, Müssen Intrusionen notwendig mit Hebung verknüpft sein? Diese Sitzungsberichte 1912, S. 707.

indem es sich, ohne daß präexistierende Hohlräume da sind, selbst solche zu schaffen vermag.

9. Selbstbefreiung des Magmas durch Gasexplosionen, Aufexplodieren.

Trotz vielfacher Einwürfe steht fest, daß die Gase des aufsteigenden Magmas, sodann die Gase des erhitzten Nebengesteines des Magmas, endlich der durch Kontaktexplosionen entstandene Wasserdampf, Röhren durch mindestens den oberen Teil der Erdrinde schlagen können, so daß das Magma sich dadurch selbst zu befreien vermag.

Überall da freilich, wo das Magma auf einer langen, zusammenhängenden Linie aufgestiegen ist, liegt die völlige Abhängigkeit des Magmas von präexistierenden Spalten klar vor Augen. Überall da aber, wo der Schmelzfluß auf Röhren rundlichen Querschnittes aufstieg, liegt ebenso klar die Tatsache vor Augen, daß sich hier das Magma unter der oben erwähnten Mitwirkung von Gasen selbständig befreit hat.

Sind nun diese Röhren in einer Linie angeordnet, so liegt offenbar eine Kombination von vorwaltender Selbstbefreiung des Magmas und von untergeordneter Abhängigkeit von Spalten vor, indem die Gase die geschlossenen Spalten an einer Anzahl von Stellen erst zu Röhren erweitert haben. Es hat dann also die Spalte nurmehr die Richtung, die Anordnung der Ausbrüche bedingt und die Entstehung der Röhren allenfalls ein wenig erleichtert; die Bildung der Röhren selbst aber, also die Möglichkeit des Ausbruches, hat sich das Magma selbst geschaffen; und das ist doch das Entscheidende.

Sind die Röhren dagegen nicht auf einer Linie angeordnet, so ist klar, daß sich hier das Magma — wenigstens durch den oberen Teil der Erdrinde — völlig selbständig seine Auswege geschaffen hat. Ob in der Tiefe dann bis zu dem Schmelzherde hin doch noch Spalten vorhanden waren, oder ob sich die Röhren durch Explosion direkt aus dem Schmelzherd heraus gebildet haben, das wird sich in den meisten Fällen unserer Erkenntnis entziehen.

Endlich ist auch ein sicheres Kennzeichen der Wirkung der Gase gegeben in der massenhaften Beimengung von Bruchstücken des durchschossenen Nebengesteines in dem vulkanischen Tuff oder Magma, von denen die Röhren erfüllt sind. Das Fehlen solcher Bruchstücke jedoch ist nicht notwendig ein Beweis gegen die Entstehung der Röhren durch Explosion; denn nur bei einer Eintagsdauer der Ausbrüche wird der mit Gesteinsbruchstücken gemengte Tuff noch die Röhre erfüllen; bei einer Fortdauer der Ausbrüche dagegen wird dieser durch die Beimengung von Gesteinsbruchstücken breccienhaft gewordene

Tuff herausgeblasen werden und einer Füllung von reinem Tuffe oder von reinem Magma Platz machen.

Auch auf diesem Gebiete würde nur ein Zusammenarbeiten internationaler Art eine Übersicht darüber ergeben können, wie groß der Prozentsatz solcher Vulkanausbrüche ist, welche sich mehr oder weniger unabhängig von Spalten vollzogen haben.

Vorsicht übrigens ist Spalten gegenüber, die sich in einem Vulkangebiete finden, auch darin zu üben, daß die Spalte sehr wohl die Folge der Vulkanausbrüche sein kann, nicht aber immer notwendig ihre Ursache zu sein braucht.

10. Selbstbefreiung des Magmas durch Aufbröckeln¹.

DALY hat uns noch auf ein anderes Mittel hingewiesen, mit Hilfe dessen sich seiner Ansicht nach das Magma ebenfalls selbständig aus der Tiefe befreien würde. Er hat es mit bergmännischem Ausdruck als *Overhead stoping* bezeichnet. Durch seine hohe Temperatur erhitzt das Magma von unten her die Erdrinde, so daß diese hier in Stücke zerspringt, zerbröckelt. Diese stürzen ab in den Schmelzfluß. Gleichviel nun, ob sie von ihm eingeschmolzen werden oder je nach ihrem spezifischen Gewicht auf seiner Oberfläche schwimmen, bzw. in seiner Mitte schweben, bzw. auf seinem Boden sich anhäufen — das Magma muß dadurch entsprechend höher steigen. So bröckelt, bricht, stemmt es sich seine Röhre höher und höher hinauf.

II. Aufgaben und Ziele vorherrschend physikalisch-chemischer Natur.

11. Selbstbefreiung des Magmas durch Aufschmelzen und das Einschmelzen der Erdrinde überhaupt.

Von überaus großer Wichtigkeit für die Erkenntnis des Vulkanismus ist die dreifache Frage, bis zu welchem Grade ein Wiedereinschmelzen der festen Erdrinde stattfindet und früher bestanden hat. Ob nur aufsteigende glühende Gase hierbei wirksam sind, die uns auf solche Weise isolierte Schmelzherde im Innern der festen Rinde schaffen.

¹ *Overhead stoping* DALY, Aufstemmen MILCH, Platzaustausch SALOMON, Übersichbrechen E. SÜSS. Ich habe das »Auf« in dem hier zu wählenden Ausdrucke, ebenso wie in dem »Aufexplodieren«, vorgezogen, wegen der Analogie mit dem ja schon allgemein angenommenen »Aufschmelzen«.

Oder ob auch aufsteigendes Magma so heiß sein kann, daß es die Erdrinde in solcher Weise einschmilzt. Oder ob auch außer jener »gasigen« und dieser »magmatischen« Aufschmelzung noch eine »geothermale« Einschmelzung — wie ich der Kürze halber diese drei Kategorien von Einschmelzung bezeichnen möchte — vorkommt, bei welcher letzten Art durch das Hinabtauchen von Schollen der Erdrinde oder von Synklinalen oder Aufsteigen der Geïsothermen ein Einschmelzen durch die in diesem Niveau herrschende Schmelztemperatur bedingt wird.

Daß in der Tiefe, da wo feste Erdrinde und flüssige Massen sich berühren, ein Abschmelzen der untersten Rinde und ein Hineinschmelzen des Magmas und der Gase in die unterste Rinde, also eine Verzahnung beider Sphären stattfinden muß, ist klar. Hier ist ja die Erdrinde so heiß, daß sie schon allein fast Schmelztemperatur besitzt. Hier braucht also das Magma nur ein geringes Maß von über seinen Schmelzpunkt hinausgehender Wärme mitzubringen, um einschmelzend wirken zu können. Aber ob in höherem Niveau auch noch ein Einschmelzen durch Magma stattfindet, obgleich doch so zahlreiche Tiefengesteine nur einen Kontaktmetamorphismus, aber kein nennenswertes Einschmelzen des Nebengesteines erkennen lassen — das ist doch die brennende Frage. Ich möchte sie für die überwiegende Mehrzahl der Fälle verneinen.

Anders ist es mit der Einschmelzung durch glühende Gase. Diese ist in höherem Grade, leichter denkbar, da Gase in unbegrenzten Mengen aufsteigen und ihre Wärme an die betreffende Stelle der Erdrinde so lange abgeben können, bis sie geschmolzen ist.

Beide Arten der Einschmelzung, gasige und magmatische, haben aber das gemeinsam, daß sie, wenn sie überhaupt große Schmelzherde zu bilden vermögen, natürlich um so viel mehr auch senkrecht aufsteigende Röhren sich durch die Erdrinde zu schmelzen vermögen, die von dem Orte der Herkunft der Gase und des Magmas aus in die Höhe geschmolzen werden. Beide Arten schmelzen daher nicht nur ein, sondern auch auf, hinauf und machen daher das erumpierende Magma ebenfalls frei und unabhängig von Spalten, die durch die gebirgsbildenden Vorgänge geschaffen werden.

Während die bis vor kurzem alleinherrschende Lehre die Präexistenz von solchen Spalten als *conditio sine qua non* für die Möglichkeit des Aufsteigens des Magmas annahm, bieten sich also heute nicht weniger als vier andre Möglichkeiten dar, durch welche die Annahme eines vorherigen Daseins von Spalten — wenigstens in den oberen, uns allein sichtbaren Teilen der Erdrinde — unnötig gemacht wird: durch Aufexplodieren, Aufbröckeln, gasiges Aufschmelzen,

magmatisches Aufschmelzen. Genug der Fragen, um internationales Forschen wünschenswert, ja notwendig zu machen.

Geothermales Einschmelzen.

Dazu kommt dann noch die Frage, ob geothermales Einschmelzen abgesunkener bzw. tiefgelegener Rindenteile stattfindet. Hier würde das feste Gestein zur Schmelzwärme hinabwandern; dort wanderte umgekehrt die Schmelzwärme hinauf zum festen Gesteine, und ebenso würde es beim Aufsteigen der Geïsothermen sein. Um ein Aufschmelzen, eine Röhrenbildung handelt es sich hier nicht; für die Selbstbefreiung des Magmas ist diese Art der Einschmelzung gegenstandslos.

Die ganze Einschmelzungsfrage ist teils eine geologische, teils eine chemische.

Eine geologische: An Aufschlüssen ist das tatsächliche Vorhandensein einer Einschmelzung nachzuweisen, und es ist zu prüfen, ob das in tiefem Niveau oder sogar in hohem Niveau stattfand.

Eine chemische: Aus dem Vergleiche der Analysen von Gesteinen der Erdrinde (Schiefern, Hobbs) und der Analysen von angeblich daraus entstandenen Eruptivgesteinen ist die Möglichkeit dieser Entstehungsweise zu beweisen (geothermale Einschmelzung). Und aus den Analysen einerseits von Kalksteinen, Sandsteinen, Tonen, andererseits von daraus entstehensollenden Eruptivgesteinen ist die Möglichkeit dessen zu erweisen unter Annahme: Einmal, daß gasige Einschmelzung stattfand, bei der also das ganze Magma nur aus eingeschmolzener Erdrinde hervorgehen würde. Zweitens, daß magmatische Einschmelzung stattfand, bei welcher das neu entstehende Magma nur zum Teil aus eingeschmolzener Erdrinde, zum anderen Teil aber aus ursprünglichem Magma hervorgegangen wäre. Es wird also zu beweisen sein, daß es tatsächlich solche Eruptivgesteine gibt, die aus x Teilen eines bestimmten Magmas + y Teilen eines Kalksteines oder Sandsteines oder Tones oder eines eingeschmolzenen Eruptiv- oder metamorphen Gesteins entstanden sein können.

12. Plastischwerden der Silikatgesteine unter Druck.

In engster Beziehung zu der Spaltenfrage (Nr. 9—11) steht die weitere Frage, ob Silikatgesteine unter hohem Druck plastisch werden denn wenn das der Fall ist, wenn sie unter hohem Drucke fließen, dann muß jede Spalte überall da in der Tiefe wieder zufließen, wo der Druck einseitig geringer oder gar aufgehoben werden würde; also

bei Bildung einer Spalte. Es sei denn, daß zerrende¹, auseinanderziehende Bewegungen der Erdrinde so stark sind, daß sich die dadurch entstandenen Spalten schneller vergrößern, als sie durch das Plastischwerden der Silikatgesteine zufließen.

W. THOMSON, DAVISON, O. FISCHER, DALY haben die Frage erörtert, bis zu welcher Tiefe die Abkühlung der Erde von der Oberfläche aus eindringt und wie sich daher die Spannungsverhältnisse in verschiedenen Niveaus bzw. Schalen verschieden gestalten müssen: Da die Abkühlung in einer gewissen Tiefe ihren größten Betrag erreicht, dann kleiner und zuletzt gleich Null wird, also in einer gewissen Tiefe überhaupt aufhört, so ist sie in verschiedenen Schalen verschieden groß. Folglich muß auch die Kontraktion in diesen Schalen verschiedenen Betrag haben und daraus entstehen Spannungen: Im oberen Niveau, der Kompressionsschale, erfolgt tangentielle Zusammendrückung, im tieferen Niveau, der Tensionsschale, dagegen tangentielle Dehnung. Dort werden also Spalten zusammengedrückt, hier unten werden sie geöffnet.

Aber diese Verhältnisse werden kompliziert, wenn die Gesteine unter hohem Druck fließen. Bekannt sind die Versuche von SPRING an Metallen, die das Fließen beweisen; indessen diese sind duktil, beweisen also für die Silikate nichts.

Auch die von KIX sowie von ADAMS und NICHOLSON gemachten Experimente beweisen bisher noch nichts für wirkliche Plastizität der Silikatgesteine. Die Versuche der letztgenannten beiden Autoren am Marmor, die ein Fließen desselben dartaten, erklären sich leicht durch die Gleitflächen des Kalkspates. Ihre Versuche am Diabas, Essexit, Granit aber beweisen nur, daß es ihnen gelang, diese Gesteine ins feinste zu zertrümmern, die Trümmer zu verschieben, so daß das Gesteinsstück eine neue Form annahm und sie wieder bis zu einem gewissen Grade zu verkitten; nämlich nur bis zu einem solchen Grade, daß 40 bis 50 Prozent der vorherigen Härte des Gesteines verloren gingen.

Noch nicht veröffentlichte, mit verschiedenen Apparaten mehrfach wiederholte Versuche von MARTENS, die zunächst mit Glasplättchen anstatt mit kristallinen Gesteinen vorgenommen wurden, führten nach freundlicher Mitteilung des genannten Herrn bisher noch zu keinem positiven Ergebnis der Plastizität des Glases unter Druck. Bis auf eine kleine Biegung, welche einer Glasplatte beigebracht werden konnte, erfolgte bisher immer noch Zertrümmerung der Platte.

¹ W. BRANCA, Vulkane und Spalten. IX. internationaler Geologenkongreß in Mexiko 1907, S. 25.

Diese Druckversuche müssen daher fortgesetzt werden, weil ihr endliches Ergebnis für eine richtige Erkenntnis der Verhältnisse in der Tiefe unserer Erdkrinde notwendig ist. Theoretisch muß unter genügendem Druck die Plastizität auch für Silikatgesteine eintreten. Um die natürlichen Verhältnisse aber besser nachzuahmen und einem vorzeitigen Zertrümmern der Gesteine vorzubeugen, muß mit ungemein langsam wirkendem Druck, dazu mit einem bestimmten Maß von Wärme und, falls das möglich wäre, auch von Feuchtigkeit, vorgegangen werden.

13. Magnetische und Schwerestörungen durch in der Tiefe anstehende Eruptivgesteine.

Man sollte ohne weiteres meinen, daß ein in der Tiefe liegender basischer, eisenreicher vulkanischer Gesteinskörper sowohl durch seine Masse als auch seinen Gehalt an Magneteisen gleichzeitig auf Pendel bzw. Lot und auf die Magnetnadel einwirken sollte, so daß sie sich durch Schwere und durch magnetische Störungen verraten müsse.

Bisher war indessen überhaupt der Nachweis noch nicht erbracht, daß eine und dieselbe Masse Störungen der Schwerkraft und des Magnetismus hervorgerufen habe. LIZNAR war daher in seinen Untersuchungen über diese Verhältnisse in Österreich-Ungarn, wie Baron EÖRVÖS hervorhebt, zu dem ganz allgemeinen Schlusse gelangt, daß eine Beziehung »zwischen den Störungen der Schwere und des Erdmagnetismus nicht bestehen kann¹«.

Trotzdem scheint es doch aber notwendig, daß ein solcher Zusammenhang bestehen müsse. EÖRVÖS sucht die Ursache dieses negativen Ergebnisses in der folgenden Weise zu erklären: einmal brauchen magnetische Störungen nicht notwendig nur durch magnetische Gesteinsmassen bedingt zu sein, sondern können auch durch Unregelmäßigkeiten der Erdströme hervorgerufen werden; und in solchem Falle ist es dann klar, warum sich nicht auch noch eine Schwerestörung an dieser Stelle zu erkennen gibt. Vor allem aber ist die von einer magnetischen Gesteinsmasse ausgeübte magnetische Kraft nicht mit ihrer Anziehungskraft proportional, sondern mit dem Gradienten²

¹ J. LIZNAR, Die Verteilung der magnetischen Kraft in Österreich-Ungarn.

² BARON ROLAND EÖTVÖS, Die Niveauflächen und die Gradienten der Schwerkraft am Balatonsee. Budapest 1908, S. 4 und 7. — Bestimmung der Gradienten der Schwerkraft und ihrer Niveauflächen mit Hilfe der Drehwage; Verhandlungen der XV. Allgemeinen Konferenz der internationalen Erdmessung in Budapest 1906. »Wenn wir die Schwere in einem so kleinen Teile der Niveaufläche untersuchen, daß sie als gleichmäßig veränderlich angenommen werden darf, finden wir eine Richtung, in welcher die Zunahme der Schwere größer ist als in allen andern Richtungen. Diese Zunahme auf der Strecke von 1 cm nennen wir den Gradienten der Schwerkraft in der Niveaufläche.«

der letzteren. Daher kann ein Zusammenhang beiderlei Störungen, auch wenn er tatsächlich besteht, gar nicht ohne weiteres nachgewiesen werden.

Nimmt man einmal eine plattenförmige, magnetisch wirkende Masse an, so sind die magnetischen Störungen nicht in der Mitte, sondern an den Rändern derselben, d. h. gewissermaßen längs tektonischer Linien, am größten. So würde sich ED. NAUMANN'S Beobachtung erklären, nach der die magnetischen Störungen durch tektonische Störungen hervorgerufen sein sollen.

Davon abgesehen aber macht ED. NAUMANN auch noch geltend, daß eine Masse von Magneteisen in der Tiefe gar nicht auf die Magnetnadel einwirke, sondern daß sie erst an der Oberfläche aktiv werde. Das lasse sich in Bergwerken am frischen Gestein feststellen¹.

DE LAPPARENT glaubte NAUMANN'S Beobachtung vielleicht so erklären zu können, daß die elektrischen Strömungen der Erde an Falten und Verwerfungen abgelenkt, unterbrochen, also gestört werden; er endigt aber seinen Erklärungsversuch mit einem Fragezeichen².

Mir scheint, daß die NAUMANN'Sche Beobachtung aus dem Grunde mit Vorsicht betrachtet werden muß, weil das Gebiet einer tektonischen Störung ganz dieselbe Stelle sein kann, an der sich in der Tiefe eine eisenreiche vulkanische Gesteinsmasse befindet. Ist das der Fall, dann wird in Wirklichkeit diese uns unsichtbare Gesteinsmasse es sein können, von welcher die magnetische Störung hervorgerufen wird, während die uns sichtbare tektonische Störung den Irrtum erweckt, daß sie, die letztere, die Ursache sei. Diese Erklärung würde indessen unhaltbar werden, wenn NAUMANN'S obige Aussage sich wirklich als allgemein richtig erweisen sollte, daß Magneteisen in der Tiefe nicht auf die Magnetnadel einwirkt.

EÖTVÖS³ hat die Methode angegeben, wie man die Beziehungen zwischen Schwere, Magnetismus und Erdbeben festzustellen habe und das am Vesuv spezialisiert.

¹ Magnetism and Earth Structure. Geological Magazine, Dec. III, Vol. VI. London 1889. 535—544, Taf. XV.—XIX.

² DE LAPPARENT, *Traité de Géologie*, 4^{ème} edit. Paris 1900, S. 107. In Italien sind alle magnetitreichen Eruptivgesteine und vulkanischen Tuffe, soweit man sie daraufhin untersuchte (Vulture, Mercogiano, Orte, Cori usw.), magnetische Störungsfelder; sie lassen die Deklination und Inklination oft sprungweise wechseln: P. TACCHINI, *Misure magnetiche eseguite in Italia nel 1891*. Rendiconti R. Accad. dei Lincei. Roma 1899, Bd. 8, 2, S. 22—28. Hier liegt sicher die Ursache der magnetischen Störungen nicht in tektonischen Störungen; aber diese Gesteine liegen freilich an der Erdoberfläche; und nach NAUMANN sollten sie, falls sie in der Tiefe lägen, diese Wirkung nicht ausüben.

³ Baron R. EÖTVÖS, *Programme de recherches gravimétriques dans les régions vésviennes*. Comptes rendus des séances de la première réunion de la commission

Er hat aber dabei betont, daß die Komponenten der von einer magnetischen Gesteinsmasse ausgeübten magnetischen Kräfte doch in engem Zusammenhang stehen mit den Äußerungen ihrer Massenanziehung, die durch die von ihm konstruierte Drehwage¹ genau nachgewiesen werden können. Im Gegensatz zu ED. NAUMANN hat er für mehrere Gebiete, so für die Frusca Gora, gezeigt, daß hier die magnetischen Störungen tatsächlich durch die Wirkungen magnetischer Gesteine in der Tiefe sich erklären lassen. Jedenfalls erzeugen dort magnetische Gesteine eine Nebenstörung; und daraus wird sehr wahrscheinlich, daß es auch ebensolche Gesteine in der Tiefe sind, die die dortige Hauptstörung bedingen.

Immerhin verwarft sich Eötvös² gegen die Deutung, als habe er dadurch, daß er die magnetischen Störungen einiger Gebiete durch die Wirkung magnetischer Gesteine zu erklären suchte, diese schon heute als die einzig mögliche Ursache derartiger Störungen hingestellt. »Ein entscheidendes Urteil in dieser Frage wird so lange nicht gefällt werden können, bis sich unsere Kenntnisse über Erdströme und deren mögliche Ablenkungen nicht in mannigfacher Weise vervollständigt haben.«

Bald darauf erfolgte neuere Untersuchungen führten ihn indessen abermals zu einem positiven Ergebnis in dieser Beziehung. Mit Hilfe der Drehwage wies er in der Mitte der ungarischen Tiefebene einen von SSO nach NNW hinziehenden, in der Tiefe verborgenen Zug von Gesteinen nach, den er in einer Länge von 50 km verfolgte. Durch eine von ihm schon früher angegebene Art der Berechnung konnten in diesem Falle die Größe und die Richtung der Magnetisierung der störenden Massen ermittelt werden, wobei sich ergab, daß diese dem durch die erdmagnetische Kraft induzierten Magnetismus einer Gesteinsmasse entspricht, deren Magnetisierungskoeffizient (Suszeptibilität) gleich 0.0035 ist³.

»Dieser Wert ist von einer Größe, wie er hauptsächlich nur eruptiven Gesteinen zukommt. Mit der Wahrscheinlichkeit, die den ein-

permanente de l'Association internationale, de Sismologie, réunie à Rome 16—20 Oct. 1906, rédigés par le secrétaire général R. DE KÖVESLÉGETHY, S. 177—179.

¹ Eötvös hat eine Drehwage konstruiert von solcher Feinheit, daß, wenn sie 1 m von der Meeresküste entfernt aufgestellt würde, eine Steigung des Meeresspiegels um nur 1 mm bereits eine Ablenkung von einer halben Bogenminute sich ergeben würde. R. VON EÖTVÖS, Untersuchungen über Gravitation und Erdmagnetismus. WIEDEMANN'S Annalen der Physik, Bd. 59, 1896, S. 354.

² Baron R. Eötvös über Geodätische Arbeiten in Ungarn, besonders über Beobachtungen mit der Drehwage. Budapest 1909, S. 34 u. 35 des Berichts aus der XVI. Allgemeinen Konferenz der internationalen Erdmessung.

³ Baron R. Eötvös, Bericht über Geodätische Arbeiten in Ungarn. Bericht über Beobachtungen mit der Drehwage. Leiden 1910, S. 25.

fachen Erklärungen eigen ist, könnten wir also hier auf das Vorhandensein eines, bisher vom Geologen nicht geahnten Massenzuges eruptiven Charakters folgern.«

Für die Erkenntnis des Vorhandenseins von Tiefengesteinsmassen in der Ebene sind diese feinen Untersuchungen mit der Drehwage somit von entschiedenster Bedeutung. Im Gebirgslande, überhaupt da, wo Massen sich über die Ebene erheben, liegt jedoch die Sache nicht so günstig; die Drehwage allein würde dann wohl nicht mehr genügen.

Von großem Werte ist die Möglichkeit, durch diese Untersuchungen den Umriß der in der Tiefe verborgenen schweren Gesteinsmassen erkennen zu können. Eötvös¹ betont, daß sich, im Gegensatz zu den zerklüfteten Gebirgsformen an der Erdoberfläche, in der Tiefe »Massenanhäufungen von mehr abgerundeter Form . . ., die sich mit sanft ansteigenden und fallenden Böschungen weit ausbreiten«, erkennen lassen; »Formen, wie sie auf dem Meeresgrunde vorkommen«. Das ist ja für den Geologen ohne weiteres begreiflich; die Beschreibung paßt genau auf lakkolithische Körper und Tiefengesteine usw.

Auf diesem Gebiete ergibt sich also ein überaus reiches Feld der Forschertätigkeit, die zugleich weit über den Rahmen vulkanischer Tiefenmassen hinausgreift, da es sich zugleich um die Frage handelt, ob in der Tiefe vorhandene Erzmassen, ja sogar vielleicht, wie Eötvös betont, Naphthasgase² sich nachweisen lassen.

14. Die vulkanischen Gase.

Eine geradezu als brennend zu bezeichnende Frage ist die nach der Qualität und der absoluten wie gegenseitigen relativen Quantität der vulkanischen Gase.

Wenn die Erde im Zustande des Feuerspeiens sich ihres Inhalts entledigt, so zeigt sich letzterer bestehend aus zwei ungleichartigen Massen, die dem Stoff und dem Aggregatzustand nach diametral verschieden sind. Er besteht aus einem feuerflüssigen und aus einem gasförmigen Gesteine, wenn ich diese Gase hier einmal auch als Gestein bezeichnen darf, nur um damit hervorzuheben, daß die Gase ein ebenso wichtiger Bestandteil des Erdinhalts sind wie die geschmolzenen Silikate. Ja, sie sind in gewissem Sinne so-

¹ Baron R. Eötvös, Über Arbeiten mit der Drehwage, Budapest 1912, S. 7. Derselbe, Über die Anziehung der Erde auf verschiedene Substanzen, Budapest 1890.

² Indem nämlich unterirdische Antiklinalen sich infolge der von ihnen ausgeübten Schwerstörungen nachweisen lassen, Petroleum aber mit Vorliebe in Antiklinalen auftritt.

gar ein noch wichtigerer als letztere; denn während feuriger Schmelzfluß nur im Zustande der Eruption aus der Erde herausgepreßt wird, entströmen ihr die heißen, leichtbeflügelten Gase auch im Zustande der Ruhe, vielfach also dauernd.

Trotzdem aber ist die Erforschung dieser gasförmigen Gesteine unendlich weit zurückgeblieben hinter derjenigen der feuerflüssigen. Während man seit langem mit Recht bemüht ist, möglichst von jedem Vulkan der Erde alle festen Gesteine chemisch zu analysieren, obgleich sie doch im Grunde genommen alle ebenfalls wie die Gase nur aus einer kleinen Anzahl von Stoffen bestehen, hat man die Gase nur bei einer relativ ganz winzigen Zahl von Vulkanen untersucht.

Der Grund liegt auf der Hand. Was an Schmelzfluß aus der Tiefe heraufgepreßt wird, erstarrt in der Erdrinde und auf derselben, so daß wir noch nach Jahrmillionen nachträglich ihn untersuchen können. Was aber an Gasen heraufkommt, entweicht sofort in die Luft und ist unserer Erkenntnis damit für immer verloren, wenn wir nicht in demselben Augenblick zugreifen und die Gase abfangen. Von dem Augenblicke an, in dem auf der Erde erstmalig Vulkanismus entstand, bis zum heutigen Tage hin ist also die Kenntnis dessen, was sie doch so unendlich oft an Gasen ausstieß, uns möglich gemacht — bei Absehen von jener, dagegen völlig verschwindenden Zahl der untersuchten Fälle neuester Zeiten und bei Absehen von den durch Sublimation zu Mineralien bzw. Gesteinen gewordenen Gasen.

Ich sagte an andrer Stelle (Nr. 3), daß die Eruptivgesteine uns ein Spiegelbild des Magmas gäben. Das ist nach den soeben gemachten Ausführungen also nur zum Teil richtig; sie sind nur von einem Teile des Magmas, dem feuerflüssigen, das Spiegelbild. Von dem andern, gasigen Teile der Eruptionsmassen sind sie es nicht. Daraus ergibt sich die große Wichtigkeit der Untersuchung der Gase, die den Vulkanen entströmen.

Übrigens aber gibt selbst nicht einmal eine Vereinigung des festen und des gasförmigen Gesteins ein erschöpfendes Bild von der ursprünglichen Beschaffenheit des Magmas in der Tiefe: letzteres ist vermutlich oder doch vielleicht schon in der Tiefe durch das Wasser ausgelaugt, also verarmt worden, das dort bei der hohen Temperatur die Rolle einer starken Säure annahm, die Kieselsäure verdrängte, aber dann bei Aufstieg und Abkühlung des Magmas wiederum von der Kieselsäure verdrängt wurde, wobei es eine Menge gelöster Stoffe mit sich nahm, also einen wäßrigen Auszug aus dem Magma bildete (ARRHENIUS, VOGT).

Falls diese Rolle des Wassers wirklich stattfindet (Nr. 15), dann stellt uns das zur Eruption gelangende feuerflüssige und gasige Magma

doch nur noch ein ausgelaugtes Magma dar; und wenn dann von diesem letzteren wiederum sofort ein ansehnlicher Teil, die Gase, entweicht, so ist der übrigbleibende Rest, die Lava, nur ein zwiefach verarmter Rest des ursprünglichen Magmas. Umsomehr also haben wir allen Anlaß, die Gase, das bisherige Stiefkind der Vulkanologen, in großem Umfange zu untersuchen.

Die Qualität wie die Quantität der Gase sind nun bei verschiedenen Vulkanen verschiedene; aber auch bei einem und demselben Vulkan sind sie verschieden, je nachdem er sich im Zustand der Ruhe oder der Eruption befindet. Es bedarf somit erst sehr zahlreicher Untersuchungen an den verschiedensten Vulkanen und zu verschiedenen Zeiten ihres Lebens, um ein sicheres Bild von diesen Gasen zu gewinnen.

Ganz ebenso wie es petrographische Provinzen gibt, deren Gesteine durch Blutsverwandtschaft miteinander verbunden sind, wie diese weiter in zwei große petrographische Sippen, die atlantische und pazifische, sich einordnen lassen, so wird sich vielleicht auch Blutsverwandtschaft gasiger Gesteine und Trennung in solche großen Sippen ergeben.

Darum gilt es, das Versäumte nun nachzuholen. Freilich eine große Aufgabe. Wenn das Auffangen dieser Gase an den Fumarolen noch verhältnismäßig leicht ist, so ist ihr Auffangen im Zustande des Paroxysmus aus dem Krater im höchsten Grade schwer und gefährlich. Es bedarf daher zunächst einmal der Konstruktion geeigneter Apparate, um die Gase im Zustande der Eruption des Vulkanes so vollständig gewinnen zu können, daß man sicher ist, auch das ganze gasige Gestein kennen zu lernen.

Es ist wohl zweifellos, daß zur Erfüllung dieser ebenso umfangreichen wie mühseligen und gefährlichen Aufgabe wiederum ein internationales Zusammenarbeiten notwendig ist, wenn nach allen Richtungen hin völlige Klarheit geschaffen werden soll.

15. Die Wasserfrage.

Zu den soeben besprochenen Gasen gehört vor allem das Wasser. Trotz der von BORNEMANN 1887 ausgesprochenen Behauptung, daß bei den Vulkanen das Wasser keineswegs die Rolle spiele, die man ihm zuschreibe, ja, daß überhaupt das Magma kein Wasser enthalte, blieb es dennoch Glaubenssatz, daß Wasserdampf in großen Massen von den Vulkanen zutage gefördert werde. Den schärfsten Ausdruck dieses unseres Glaubens gab E. Süss mit seiner Lehre: Nicht die Vulkane werden vom Meere gespeist, sondern die Meere werden aus dem juvenilen Wasser der Vulkane geboren und gespeist.

Erst BRUNS sorgfältige Arbeiten haben seit dem Jahre 1907 diesen unseren allgemeinen Glauben auf das schwerste erschüttert und den vermeintlichen Wasserdampf der Rauchsäule als Dampf von Chlorverbindungen erklärt. Diese Arbeiten sind allbekannt; genauer darauf einzugehen, ist hier nicht der Ort.

Aber von verschiedenen Seiten, so auch von einem der Ersten auf dem Gebiete der Vulkanforschung, von LACROIX, ist doch noch neuerdings das Auftreten von Wasserdampf bei Vulkanen nachgewiesen worden¹. Zudem hat GAUTIER durch ebenfalls sehr schöne Arbeiten gezeigt, daß die festen Gesteine der Erdrinde, wenn sie durch aufsteigendes Magma erhitzt werden, überaus große Mengen von Gasen und von Wasserdampf hergeben; zumal wenn es bis zur Rotglut kommt. Diese Gase treten dann natürlich zusammen mit den vulkanischen Massen zutage, und sind von diesen untrennbar.

Es stehen sich also im Grunde genommen doch zwei Ansichten schroff gegenüber; denn diese von GAUTIER ins Auge gefaßten Gase und Wasserdämpfe darf man keineswegs etwa für identisch erklären mit dem Wasserdampf, den auch BRUN den Vulkanen zugestanden hat, und der durch Erhitzung des infiltrierten Wassers aus den Schichten des Vulkanberges herrühre. Die Gase, auch das Wasser, welche GAUTIER im Auge hat, sind gebunden, keineswegs nur imbibiert.

Wiederum wird es also internationalen Zusammenwirkens, der Untersuchungen Vieler und an vielen Vulkanen bedürfen, bevor hier volle Klarheit erlangt werden kann.

16. Bituminöse Eruptivgesteine.

Bitumen ist in den Eruptivgesteinen gar nicht so selten gefunden worden; nicht weniger als 27 derartige Vorkommen werden von HÖFER aufgezählt, ohne daß damit ihre Zahl erschöpft wäre. Durch Chloroformauszug hat man aus Laven Kohlenwasserstoffe extrahieren können, ohne daß man ihnen das äußerlich anmerken konnte. Auch in den Exhalationen von Vulkanen sind Kohlenwasserstoffe nachgewiesen worden.

Wie sind diese organischen Substanzen in die Eruptivgesteine hineingelangt? Es gibt zwei Erklärungsversuche: Einmal könnte man denken, daß die betreffenden Magmen durch bituminöse Gesteine hindurchgegangen seien (HÖFER). Zweitens aber könnten die Kohlenwasserstoffe aus der Tiefe der Erde stammen, falls der Eisenkern

¹ Ausführlicheres s. über Gase und Wasser in meiner hier auf S. 813 in Anmerkung zitierten Arbeit.

der Erde aus Karbiden bestände, die sich mit Wasser zu Kohlenwasserstoffen und oxydiertem Eisen umsetzen würden (MENDELEJEFF); wieder würde uns da aber die Wasserfrage (Nr. 14) entgegentreten.

Wie bei den Eisenlaven, so würden wir auch hier, bei diesen bitumenreichen eruptiven Silikatgesteinen einen Gruß aus jener großen Tiefe haben, in der das Eisenmagma herrscht — falls jene ja sehr fragliche MENDELEJEFFSche Ansicht das Richtige träge.

Viel größer als die Wichtigkeit dieser Frage und ihrer Untersuchung für die Petrographie, für den Vulkanismus, ist ihre Bedeutung für das Menschengeschlecht wegen der Frage nach der Entstehung des Petroleums. Doppelter Grund, sie international, an möglichst vielen Vulkanen zu prüfen. Augenblicklich ist zwar die Entscheidung gegen MENDELEJEFF gefallen, die Polarisationsverhältnisse der Naphtha sollen seine Ansicht unhaltbar machen; und es erscheint fast verwegen, auch nur die Möglichkeit zu erwägen, ob denn nicht doch auch MENDELEJEFF recht haben könne. Petroleum könnte ja auch zweierlei verschiedenen Ursprungs sein, so daß beide Teile das Richtige getroffen hätten. Die Ansichten haben in der Geologie schon manches Mal gewechselt; der Graphit ist ebenfalls zwiefach verschiedenen Ursprunges.

17. Entstehung des Magmas durch Kondensation der Gase.

Meines Wissens nirgends sonst, nur im Fremdenbuch auf dem Kilauea von mir unbekannter Hand geschrieben, und in einem Zeitungsartikel von dem verstorbenen BENEDIKT FRIEDLÄNDER, findet sich die Ansicht ausgesprochen, das Magma entstehe durch die Kondensation aus der Tiefe aufsteigender Gase¹.

Wenn doch in der Entwicklung der Gestirne auf das gasige Entwicklungsstadium ein feuerflüssiges folgt, d. h. also Gas zu Magma sich kondensiert, so darf wohl auch der Gedanke eingehend geprüft werden, ob nicht in der Tiefe der Erde die Magmaschale lediglich durch Kondensation der aus der Erdtiefe aufsteigenden weißglühenden Gase erfolgt.

Wir würden damit einen für ungeheuer lange Zeiträume unerschöpflichen Quell der Magmabildung erhalten; in ähnlicher Weise, wie wir auch möglicherweise in den radioaktiven Vorgängen einen solchen, lange Zeiten andauernden Quell finden könnten. Nur daß dann die erstere Möglichkeit wohl durch die letztere ausgeschlossen würde, da dann im Erdinnern keine hohe Temperatur zu herrschen brauchte (s. Nr. 18).

¹ Siehe Näheres in meiner S. 813 Anm. zitierten Arbeit.

18. Einfluß radioaktiver Vorgänge auf den Vulkanismus.

Die Frage der radioaktiven Vorgänge, die mit revolutionärer Gewalt unsere fest gegründeten Ansichten über die Elemente beseitigt hat, bedroht auch mit ebensolcher Gewalt alt eingewurzelte geologische Anschauungen. Daß sie sie bedroht, ist zweifellos, wenn das auch manchen, die diesen Fragen ferner stehen, noch nicht klar geworden sein mag. Fraglich kann überhaupt nur sein, bis zu welchem Grade sie sie bedroht.

Bisherige Glaubenssätze der Geologie sind es:

Daß im Innern der Erde mit zunehmender Tiefe immer weiter steigende, schließlich sehr hohe Temperatur herrscht, so daß unter der festen Erdrinde zunächst eine Zone des Schmelzflusses, unter dieser aber, in noch größerer Tiefe, eine Zone des gasförmigen Zustandes herrscht; wenn auch Schmelzfluß und Gas zur Dichte fester Körper zusammengepreßt sein dürften.

Daß die geothermische Tiefenstufe theoretisch — also bei Absehen von den lokalen und lokal sehr verschiedenen Fehlerquellen und bei Annahme einer vollkommenen Kugel — überall auf Erden so ziemlich dieselbe ist und in den oberen Teufen ganz ungefähr 33 m betragen mag, und dann überall nach der Tiefe hin größer wird.

Daß also alle Wärme, welche die Erde ausstrahlt, herrührt von ihrer seit der Urzeit ihr innewohnenden Eigenwärme plus desjenigen Wärmequantums, das der Erde durch die Sonne und chemische und physikalische Prozesse (anderer Art also als Zerfall der Elemente) gegeben wird.

Daß folglich die Erde durch diese Abkühlung zusammenschrumpft und die Gebirge und der Vulkanismus eine Folge dieser Schrumpfung sind.

Alle diese Fundamente der geologischen Glaubenssätze kommen nun mehr oder weniger ins Wanken. Es zeigt sich nämlich:

Überall haucht der Boden der Erde (geringe) radioaktive Emanation aus; alle Quellen haben daher (geringen) Gehalt derselben, auch das Erdöl scheint ihn zu haben; vermutlich auch alle Gesteine enthalten einen (geringen) Gehalt an radioaktiven Substanzen; vor allem aber alle Eruptivgesteine haben einen mehr oder weniger hohen Gehalt an solchen. Dieser ist so groß, daß, wenn die ganze Erde diesen Gehalt hätte, bis vielmal so viel Wärme erzeugt würde, als Erde überhaupt ausstrahlt. Daher erscheint es fraglich, ob die ganze Erde ihn hat.

Zwar auch alle untersuchten Meteorsteine verhalten sich ebenso. Die Meteoreisen jedoch haben keinen Gehalt an radioaktiven Substanzen.

Aus beiden Tatsachen kann man vielleicht folgern, daß auch nur die Erdrinde, nicht aber der Eisenkern der Erde radioaktiv ist.

Trotzdem aber bliebe immer noch so viel Wärme erzeugende Radioaktivität für die Erde übrig, daß folgende Fälle theoretisch durchaus möglich sind:

Irgendein Gestirn, also auch Erde, könnte im Innern längst erloschen sein; sie könnte trotzdem immer wärmer werden, anstatt kälter.

Alle von ihr ausgestrahlte Wärme könnte nur durch radioaktive Vorgänge erzeugt werden; natürlich bei Absehen von der Wärmemenge, die ihr von der Sonne zugeführt wird und die auf ihr durch andere Vorgänge entsteht.

Alle Vulkanherde könnten in der Rinde dieser längst erstarrten Erde erzeugt werden durch lokal gesteigerte radioaktive Vorgänge, welche die Rinde lokal einschmelzen würden.

Eine Schrumpfung der Erde brauchte mithin nicht vorhanden zu sein. Vulkane, Hebungen und Gebirge könnten durch radioaktive Vorgänge entstehen.

Wir haben Forscher, welche sich schon auf den Standpunkt stellen, daß dies nicht nur Möglichkeiten, sondern fast Tatsachen sind. Ich möchte einen so weit gehenden Standpunkt nicht teilen, weil unser Wissen noch zu gering ist. Aber zweifellos ist mir doch, daß die vulkanologische Forschung diesen radioaktiven Vorgängen scharf ins Auge sehen muß. Sorgfältigste und vielfältigste Untersuchungen auf radioaktivem Gebiete sind für die Vulkanologie das notwendigste Erfordernis.

Erstens einmal müssen möglichst viele Gesteine daraufhin untersucht werden. Besonders in Bohrlöchern, Tunnels, Bergwerken muß einerseits diese Prüfung der durchsunkenen Gesteine auf Radioaktivität erfolgen, und sie muß andererseits sich auch erstrecken auf die geothermische Tiefenstufe, damit man Stärke der Radioaktivität und Betrag der Tiefenstufe in etwaige Beziehung zueinander setzen kann. Sodann ist eine kritische Zusammenstellung und Sichtung aller früheren Beobachtungen über geothermische Tiefenstufen notwendig. Drittens aber müssen Messungen der Wärmekapazität und der Wärmeleitfähigkeit der verschiedenen Gesteine stattfinden (KÖNIGSBERGER).

Ein überaus weites Feld internationaler Forschung eröffnet sich hier vor uns, das ganz allein für sich schon würdig wäre, ein internationales Zusammenarbeiten aller Kulturvölker ins Leben zu rufen; ein Feld der Forschung, das unmöglich durch vereinzelte Untersuchungen, sondern nur durch internationale Zusammenarbeit zu dem Ziele führen kann: Erkennung des wahren Betrages, welcher den radioaktiven Vorgängen für die

genannten Verhältnisse der Erde und ganz speziell für den Vulkanismus zukommt¹.

Die Frage nach der Ursache der Gebirgsbildung.

Ich habe oben schon angedeutet, daß auch die Gebirgsbildungsfrage von den radioaktiven Vorgängen berührt wird. Wenn nun auch Gebirgsbildung nicht zu dem eigentlichen Vulkanismus gehört, so möchte ich hier doch noch ein anderes anknüpfen, das ebenfalls Bezug hat auf die Frage der Gebirgsbildung.

Allgemein wird in der Geologie angenommen, daß die Erde infolge der Abkühlung durch Wärmeausstrahlung sich zusammenzieht; dadurch erfolge dann die Runzelung der Rinde und die Entstehung der Gebirge.

Diese Abkühlung steht aber keineswegs fest. Nicht nur, wie wir gesehen haben, weil die radioaktiven Vorgänge die angebliche allmähliche Abkühlung vielleicht in eine allmähliche Erwärmung umkehren, sondern auch, weil ja doch infolge der fortschreitenden Kontraktion der Erde ebenfalls Wärme entsteht, die möglicherweise den durch Abkühlung entstehenden Wärmeverlust übertreffen könnte. KELVIN hat in seiner berühmten Abhandlung über die Abkühlung der Erde, auf der die obige geologische Anschauung fußt, diese Kontraktionswärme total vernachlässigt, wie RUDZKI zeigt.

Wir meinen mit unbestreitbarem Recht, daß ein kalter kosmischer Nebel durch seine Verdichtung sich mehr und mehr erwärmt und, obgleich er Wärme infolge von Ausstrahlung verliert, zuletzt glühend und später feurig-flüssig wird. Wir nehmen auch für die Sonne an, daß in ihrer Zusammenziehung die Quelle ihrer Wärme liegt, wenngleich das heute zu ergänzen ist durch die Wärmequelle, die aus den radioaktiven Vorgängen in der Sonne entsteht.

Folglich muß auch die Erde infolge ihrer Zusammenziehung sich erwärmen, und es fragt sich nur, ob diese Wärmeeinnahme die Wärmeabgabe übertrifft, oder ihr gleichkommt oder von ihr übertroffen wird. Im ersten wie im zweiten Fall kann von keiner Zusammenziehung, daher von keiner Runzelung der Erdrinde, daher von keiner aus diesem Grunde erfolgenden Gebirgsbildung die Rede sein.

Nun zeigt RUDZKI² das Folgende: Wenn die Erde sich um 1° C abkühlt, so hat sie 95.1×10^{25} Grammkalorien verloren. Durch Kon-

¹ Auch hierüber siehe Ausführliches in meiner auf S. 813 in Anm. zitierten Arbeit.

² M. P. RUDZKI, Physik der Erde, Leipzig 1911, S. 121. 203.

traktion aber, infolge eben dieser Abkühlung, hat sie 126×10^{25} Grammkalorien, also 1.3 mal soviel gewonnen. Die Temperatur hat also um 1.3°C zugenommen.

Indessen betont RUDZKI, daß er hierbei die ganze durch Kontraktion freiwerdende Energie in Wärme verwandelt habe, wie das ja durch die Erfahrung bestätigt werde. Daß aber doch die Möglichkeit vorliege, daß ein Teil der Energie eine andere Form annimmt, z. B. elektrische oder magnetische Energie. Es zeigt sich somit, daß die Regeln der Kalometrie für Körper von der Größe unsrer Erde nicht gelten; und es ergibt sich aus der Rechnung, daß die Kontraktionswärme bei kleinen Körpern nur einen verschwindenden, bei großen aber einen wichtigen Einfluß hat¹.

Jedenfalls folgt schon aus diesen Betrachtungen, daß die vermeintlich sichere Grundlage unsrer geologischen Anschauungen über die Entstehung der Gebirge infolge von Abkühlung der Erde eine vollständig unsichere ist; und diese Unsicherheit wird verdoppelt durch unsre heutige Erkenntnis der Wärmeerzeugung durch radioaktive Vorgänge. Wir wissen folglich auch nicht, ob die Rotationsgeschwindigkeit ein wenig zu- oder abnimmt, was vielleicht ein geringes Hin- und Herfluten der Meere zum Äquator bzw. zu den Polen bedingen könnte.

19. Differentiation.

Das Magma wird aufgefaßt als eine Lösung mehrerer festbestimmter, also stöchiometrischer Verbindungen, von denen jede in den anderen, also alle ineinander gelöst sind. Dieses Urmagma oder Stammagma differenziert sich, durch fragliche Ursachen getrieben, in stofflich verschiedene Teile oder Spaltmagmen, die dann zu stofflich verschiedenen Gesteinen erstarren.

Der Vorgang der Differenzierung des Magmas ist also für die Produkte des Vulkanismus von entscheidender Bedeutung. Die Verschiedenartigkeit der Gesteine beruht auf diesem Vorgange. Somit ließe sich vermutlich auch eine Verschiedenheit des Gasgehaltes nachweisen, die auf diese Differentiation des Magmas zurückzuführen wäre — falls wir imstande wären, diese Beziehungen festzustellen.

In sehr anschaulicher Weise hat RINNE² die Differentiation des Magmas mit den Vorgängen beim Gefrieren des Meerwassers veran-

¹ Das Verhältnis zwischen der Kontraktions- und der Abkühlungswärme wächst nämlich mit dem Quadrat der linearen Dimensionen.

² F. RINNE, Salzpetrographie und Metallographie im Dienste der Eruptivgesteinskunde. Fortschritte der Mineralogie 1911, Bd. I, S. 181.

schaulich. Wenn Salzwasser gefriert, so diffundieren die Salze nach unten, das Wasser nach oben; und wenn auf solche Weise ein Salzwasserbecken bis auf den Boden ausfrieren würde, so bestände das Eisgestein dann oben aus ziemlich reinem Wasser, unten läge ein verwickelt zusammengesetztes Eis-Salzgestein.

Ebenso finden Stoffwanderungen auch in dem Magma statt, bei denen gewisse Stoffe miteinander wandern, andere dagegen sich fliehen. Aber bei dem Magma handelt es sich nicht nur um Diffusionsvorgänge.

Offenbar handelt es sich hier, wie bei den Ursachen der Differenzierung organischen Lebens, um komplizierte Vorgänge, um eine Mehrzahl von Ursachen.

Es muß schließlich gelingen, diese Vorgänge theoretisch sicher zu erkennen, so daß man sie zahlenmäßig belegen kann, wie solches für physikalisch-chemische Vorgänge das Endziel ist. Aber wir sind heute noch weit von diesem Endziele entfernt; und internationales Arbeiten in vulkanologischen Forschungsinstituten würden uns ihm näherbringen.

Am augenfälligsten vielleicht ist diejenige Spezialisierung des Magmas, die durch die beginnende Kristallisation bedingt wird: die schwerst löslichen Kristalle scheiden sich aus. Sind sie so schwer, daß sie im Magma in die Tiefe sinken und sich dort anhäufen, dann ist das Restmagma natürlich an diesem Stoffe verarmt, während unten ein an ihm reiches Gestein sich bildet. Auch Strömungen und Druck könnten unter Umständen auf die Kristalle transportierend oder auspressend wirken.

Indessen diese Ursache der Differenzierung erlischt im selben Schritte, in dem das Magma zähflüssiger wird.

Strömungen müssen eine zweite Ursache auch noch nach anderer Richtung hin bilden. Sie entstehen durch verschiedene Druckverhältnisse, vor allem aber durch die Abkühlung der äußeren Teile des Schmelzherdes; ich komme unten darauf zurück. Sie verfrachten daher nicht nur Kristalle, sondern auch das flüssige Magma. Es scheint aber, daß sie, oder andere Ursachen, sehr auffallenderweise nicht das ganze Stammagma, so wie es ist, sondern mit Vorliebe gewisse Bestandteile desselben verfrachten.

Wie mehrfach betont, kommt den Gasen, als einem dem Schmelzflusse im Grunde genommen ebenbürtigen Bestandteil des Magmas, eine viel größere Wichtigkeit zu, als man angesichts ihrer dünnen Beschaffenheit ihnen zuerkennen möchte. Ich habe oben der Vermutung Raum gegeben, daß die Gasgesteine ähnliche große Verschiedenheiten der Quantität und Qualität erkennen lassen werden, wie wir sie bei den festen Eruptivgesteinen kennen. Ist dem so, dann mögen

vielleicht gasreiche, daher leichtere Teile im Magmaherde aufsteigen und damit die Verfrachtung dieser Teile ins Werk setzen.

Indessen ein solcher Vorgang würde nur zum Ziele führen, wenn diese Gase imstande wären, ein Spaltmagma zu erzeugen; denn wenn sie nur im Stammagma eine Verfrachtung eines Teiles desselben ins Werk setzten, dann würde dadurch allein noch keinerlei Spezialisierung desselben hervorgerufen werden.

Wenn indessen der gasreiche Teil des Stammagmas durch diese Gase in kältere Gegenden und in solche anderer Druckverhältnisse verfrachtet wird — und das könnte zutreffen —, dann würden diese beiden Ursachen es sein, welche die Differenzierung wesentlich bedingen. Das Gas aber würde nur dieselbe Rolle spielen wie oben die Strömungen, als Verfrachter zu wirken, nicht als Differenzierer.

Am liebsten möchte man vielleicht an molekulare Stoffwanderungen denken. Durch Diffusion während sehr langer Zeiträume müßte ein Zerfallen des Stammagmas in Teilmagmen sich ungezwungen erklären lassen.

Indessen gerade dieser Erklärungsversuch stößt auf Schwierigkeiten. Für solche molekularen Stoffwanderungen in großem Umfange müssen drei Bedingungen erfüllt sein: möglichste Dünnflüssigkeit der Lösung, vollkommene Ruhe derselben und überaus lange Zeit, wenn sie ein nennenswertes Maß erreichen sollen.

Mir scheint infolgedessen, daß man bei allen in oberen Teufen der Erdrinde befindlichen Magmaherden von solchen Diffusionsvorgängen absehen muß: Vor allen Dingen fehlt ihnen die Ruhe. Wenn man sich vorstellt, daß eine aus der Tiefe herauskommende Magma-masse eine Temperatur von 1200 oder 1400—1600° C besitzt und nun in einen Hohlraum eintritt, der 10 km unter der Erdoberfläche sich befindet, so trifft sie dort auf eine Temperatur von ungefähr nur 300° C. Das ergibt einen Temperaturunterschied von 900—1300° C. Infolgedessen müssen starke Konvektionsströme sofort entstehen, die von dem Inneren dieses Schmelzherdes nach der Peripherie, welche letztere durch Gesteine von nur 300° C Wärme umgrenzt wird, hingehen und dort nach ihrer Abkühlung wieder in das Innere zurücklaufen. Außerdem findet aber die Erfüllung des Hohlraumes nicht auf einmal statt, sondern es erfolgen fortgesetzt Nachschübe, so lange bis der Hohlraum erfüllt ist.

Durch beide Umstände wird nun die Ruhe in dem Schmelzherde in so hohem Maße gestört, daß Diffusion wohl verhindert wird.

Zweitens aber fehlt vielleicht doch auch die Länge der Zeit, welche notwendig ist, um molekulare Stoffwanderungen von nennenswertem Betrage entstehen zu lassen. Wenn auch für unsere Begriffe

die Abkühlung eines solchen Schmelzherdes sehr langsam erfolgt, mit dem Zeitmaß der Erdgeschichte gemessen, also geologisch gesprochen erfolgen das Zähflüssigwerden und die Kristallisation doch verhältnismäßig schnell; und eine so relativ kurze Zeit würde nur ganz kurze Strecken molekularer Stoffwanderung ermöglichen.

Anders allerdings liegen die Verhältnisse in großer Tiefe, in dem gemeinsamen Schmelzherde, der Magmaschale. Dort ist Ruhe vorhanden: Dort, wo die Temperatur viel zu hoch ist, als daß Kristallisation in absehbarer Zeit eintreten könnte, sind auch lange Zeiten der Ruhe vorhanden. Es ist drittens auch, wenigstens theoretisch, infolge der hohen Temperatur Düninflüssigkeit vorhanden.

Wenn auf solche Weise in großer Tiefe alle Bedingungen für molekulare Stoffwanderungen erfüllt sind, so steht dem doch hindernd entgegen der gewaltige Druck, unter dem sich das Magma in so großer Tiefe befindet. Infolge dieses hohen Druckes besitzt das an und für sich hier dünnflüssige Magma dennoch die Festigkeit und Dichte eines starren Körpers; die innere Reibung ist infolgedessen in dieser — an und für sich, d. h. unter einem Atmosphärendruck dünnflüssigen — Magmamasse eine sehr große¹.

Es entsteht daher die Frage, ob unter solchen Umständen in großer Tiefe Diffusionsvorgänge in nennenswertem Maße sich vollziehen. Das muß wohl bejaht werden. Aber wir dürfen nicht vergessen, daß diese Stoffwanderungen, die schon in dünnflüssigen Medien langsam vor sich gehen, bei so dichten unendlich langsam fortschreiten werden, so daß gewaltige Zeiträume nötig sind, um einen nennenswerten Betrag zu erreichen. Am Ende des nächsten Abschnittes führe ich einige Zahlen an.

Notwendig knüpft sich somit die Frage an, ob auch im festen Aggregatzustande molekulare Stoffwanderungen in solchem Betrage möglich sind, daß sie geologisch eine Rolle spielen können.

20. Diffusion fester Körper.

Wenn nämlich zwischen festen Körpern Diffusion möglich ist, dann werden die soeben besprochenen Stoffwanderungen in großer Tiefe wohl um so eher vor sich gehen können; denn das Magma dort ist ja nicht einmal wirklich ein fester Körper, sondern ein flüssiger, der nur zur Dichte eines festen zusammengedrückt ist.

¹ Daß auch durch Einschmelzen fester Gesteine der Erdrinde im Magma (s. sub Nr. 11) natürlich das Stammagma eines Schmelzherdes seine stoffliche Zusammensetzung überall da ändern muß, wo Einschmelzung in ihn stattfand; ist klar. Aber das ist dann keine Differenzierung desselben mehr.

Gewisse feste Körper können nun sicher ineinander diffundieren, so fand ROBERTS-AUSTEN¹, daß Gold 9.95 mm von der Kontaktgrenze entfernt in Blei vorgedrungen war, nachdem die Stücke vier Jahre lang bei Zimmertemperatur fest aufeinandergepreßt gelegen hatten. Bei wesentlich erhöhter Temperatur (251° C — also 75° unter dem Schmelzpunkt des Bleies) waren sogar schon nach 31 Tagen 0.002 Prozent Gold im Blei, und zwar 7 cm von der Kontaktstelle entfernt zu finden².

In gleicher Weise haben BRUNI und MENEGHINI gezeigt, daß Nickel und Kupfer bei 500° C ineinanderdiffundieren, so daß dadurch feste metallische Lösungen entstehen³.

Es ist indessen nicht zu verkennen, daß es sich hier stets um duktile Metalle handelt, während die Frage sich doch um Silikatgesteine dreht. Nun hat z. B. E. GREENLY⁴ freilich gezeigt, daß Granitsubstanz in das Nebengestein hineindiffundierte, und umgekehrt. Aber schon GREENLY hat betont, daß der Granit offenbar flüssig war, das Nebengestein zudem erweicht, als dieser Vorgang sich vollzog. Also ebenfalls keine Diffusion fester Silikatgesteine.

Vielmehr ist das doch wohl nur ganz dieselbe Erscheinung, die JOHNSTON LAVIS im Sinne hat, indem er die Bildung basischer Gesteine in der Peripherie eines sauren Tiefengesteines nicht auf Differentiation, sondern auf Wanderungen der Elemente Ca, Mg, Fe aus dem kalkigen Nebengestein in das Magma und umgekehrt von SiO₂, K², Na⁺ in den Kalk zurückführt. Also auch hier eine Schmelzlösung, deren Bestandteile in ein erweichtes, hartes Gestein diffundieren und umgekehrt.

Für Stoffwanderungen zwischen beiderseits festen Gesteinen ist ferner auch ein von BERGEAT angeführter Fall, wie er das jedoch ebenfalls schon bemerkt, nicht beweisend. Granodiorit hat im Kontakthofe den Kalkstein in Granatfels verwandelt, wobei ein gegenseitiger Austausch stattfand. Die Temperaturverhältnisse, unter denen sich die hierbei entstandenen Mineralien bilden, beweisen nun allerdings, daß der Granodiorit nicht mehr Schmelztemperatur gehabt haben, also nicht mehr flüssig gewesen sein kann. Aber trotzdem liegt doch die

¹ ROBERTS-AUSTEN, Bakerian Lecture, Phil. Trans. 1896 vol. LXXXVII v. Proc. Roy. Soc., Okt. 1900, S. 436.

² Das steigerte sich selbstverständlich, sobald geschmolzenes Blei genommen wurde; in dieses wanderte das Gold noch schneller hinein.

³ G. BRUNI und D. MENEGHINI, Bildung metallischer fester Lösungen durch Diffusion im festen Zustand. Internationale Zeitschrift für Metallographie 2, 1911, 26.

⁴ E. GREENLY, Difusion of Granite into Crystallineschichts. Geological Magaz. 1913, Bd. 10, S. 207.

Möglichkeit vor, daß hier nicht Diffusion die Ursache der Stoffwanderung war, sondern daß die magmatischen Gase die Träger waren¹.

Beweisender sind dagegen die folgenden Versuche über Diffusion von Silber in Glas. Schon HEYDWEILER und KOPFERMANN hatten bei Gelegenheit elektrolytischer Untersuchungen gefunden, daß aus geschmolzenem Silbernitrat Silber nicht nur auf elektrolytischem Wege, sondern auch lediglich durch Diffusion in festes Glas einwandert². Indessen bedarf es auch hier erhöhter Temperatur, da erst bei 250° C diese Diffusion bemerklich zu werden beginnt. SCHULZE³ hat diese Versuche, wie ich freundlicher Mitteilung des Hrn. E. WARBURG verdanke, weiter verfolgt, und WARBURG hat die Theorie dieses Vorganges gegeben⁴.

Das Glas war Thüringer Natriumglas, und es zeigte sich, daß das Silber in Form freier Ionen in das Glas diffundiert, und daß für jedes eintretende Silberion ein Natriumion austritt; auch wenn außer durch Diffusion noch elektrolytisch Silber in das Glas eingeführt wurde, dann konnte Natrium gegen den Strom des elektrolytisch eindringenden Silbers aus dem Glase auswandern. Die Konzentration des Silbers im Glase nimmt bei der Diffusion mit zunehmender Tiefe geradlinig ab. Die Menge des in das Glas diffundierenden Silbers erwies sich, wie die WARBURGSche Theorie das fordert, als proportional der Wurzel der Diffusionsdauer und der Wurzel der Leitfähigkeit des Glases \times absolute Temperatur.

Ich sagte, diese Versuche seien für unser vorliegendes Problem beweisender als die vorhergehenden Beobachtungen; denn wenn auch das Silbernitrat geschmolzen war, so war doch das in diese Schmelze getauchte Glas ganz hart, es war ein Gestein, wenn auch kein kristallines. Indessen auch das Silber, das in das Glas einwanderte, befand sich doch offenbar in festem Zustande, als es das tat, wenn auch das Silbernitrat geschmolzen war.

Aus diesen Versuchen also wird der Diffusionsvorgang, der aus dem Magma in das feste Nebengestein hinein ersichtlich stattfinden muß, klar; und das um so mehr, als ja das Nebengestein die diese Stoffwanderungen begünstigende hohe Temperatur bis zu gewissem Grade schon besitzt, in noch viel höherem Grade aber durch das Magma er-

¹ A. BERGEAT, Der Granodiorit von Concepción del Oro im Staate Zacatecas (Mexiko) und seine Kontaktbildungen. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie, Paläontologie, Beilageband XXVIII, 1909, S. 479.

² Annalen der Physik, 4. Folge, Bd. 32, 1910, S. 739.

³ GÜNTHER SCHULZE, Versuche über die Diffusion von Silber in Glas. Annalen der Physik, 4. Folge, Bd. 40, 1913, S. 335—367.

⁴ E. WARBURG, Über die Diffusion von Metallen in Glas. Ebenda Bd. 40, 1913, S. 327—334.

langt. Zu berücksichtigen ist immerhin der kleine Unterschied, der sich daraus ergibt, daß bei den Versuchen Glas vorlag, während es sich in der Erdrinde einerseits um kristalline Gesteine, andererseits um zum Teil lockerere Sedimentgesteine handelt.

Indessen die angeführten Beispiele beziehen sich nur auf Diffusion aus einer Schmelze in feste Körper. Das ist aber nur der eine in der Geologie mögliche Fall. Es fragt sich daher immer noch, ob aus zwei festen und nicht duktilen Körpern ineinander Diffusion stattfinden kann. Das wäre der für die Geologie sehr viel wichtigere Fall, weil in der Erdrinde der Regel nach feste Gesteine neben festen liegen und nur der Ausnahme nach flüssige neben festen.

LIESEGANG¹ führt an, daß ein Bleirohr, das in Zementfassung eingebettet war, binnen 24 Jahren bis 4 mm tief in eine kompakte, steinige, gelbrote Masse umgewandelt war, die aus 24 roten Schichten (Pb^3O^4) und 23 gelben (PbO) bestand². Das waren aber »nicht Jahresringe, sondern eine durch rhythmische innere Stoffwanderungen verursachte Erscheinung im festen Körper«.

Stoffwanderung im festen Körper gewiß; und damit wohl auch aus dem (selben) festen Körper in (denselben) festen Körper.

Jedenfalls zeigen die angeführten Beispiele, in welchen Richtungen hin die auszustellenden Experimente sich bewegen müßten, um diese für die Vulkanologie (wie überhaupt die Geologie) so wichtige Frage weiter zu untersuchen. Man wird nicht sagen dürfen, die Diffusion zwischen zwei festen Körpern berühre die Vulkanologie nicht mehr, da hier ja nur das flüssige Magma in Frage komme. Dem ist aber nicht so. Der flüssige Aggregatzustand des Magmas in der Erdrinde ist ja nur ein — geologisch gesprochen — sehr kurzer Augenblick, der sehr bald von dem festen Zustande, der Erstarrung zu Eruptivgesteinen, verdrängt wird. Deren Diffusionsmöglichkeiten aber gehören auch zu den vulkanologischen Fragen.

Auch die Länge der Zeit wäre festzustellen, die unter gegebenen Temperaturverhältnissen nötig ist zur Zurücklegung einer bestimmten Weglänge. Aus obigen Angaben lassen sich in dieser Beziehung die folgenden Schlüsse ziehen.

Zunächst für die Wanderung im Blei. Wenn in 24 Jahren die zurückgelegte Strecke nur 4 mm betrug, so war sie in 24000 Jahren erst 4 m; in 1 Million Jahren also immer nur erst 166 m.

¹ Geologische Diffusionen. Dresden 1913. 180 S. S. 172.

² KOHLMAYER, Jahresringe in einem Bleirohr. Chemiker-Zeitung 1912. S. 993.

Bei den duktilen, fest aufeinander gepreßten Stücken von Gold und Blei betrug die zurückgelegte Strecke dagegen schon in 4 Jahren 9.9 mm, folglich in jenen 24000 Jahren fast 60 m; in 1 Million Jahren also $2\frac{1}{2}$ km. Diese Strecke wurde aber bei erhöhter Temperatur, die jedoch immer noch weit unter dem Schmelzpunkt war, ganz bedeutend viel größer; und mit erhöhter Temperatur müssen wir in der Tiefe rechnen, allerdings auch mit sehr viel höheren Schmelzpunkten, als das Blei sie hat. Schon nach 31 Tagen betrug sie bei 251°C 7 cm. Das macht in 1 Million Jahren schon etwa 825 km, freilich bei duktilen Metallen, also eine ganz gewaltige Strecke.

21. Schmelzversuche.

Eine ganze Flut zu lösender Fragen ist es, die ich unter diesem Titel zusammenfassen will: Die Kristallisierungs- und Schmelztemperatur der Mineralien einzeln bzw. bei Anwesenheit einer Schmelze; der Einfluß der Mineralisatoren; der Einfluß des Drucks; die Reihenfolge der Ausscheidung; die Pegmatitbildung; die Schmelztemperaturen der verschiedensten Sediment- und organogenen Gesteine sowie der kristallinen Schiefer; denn wenn die magmatische Aufschmelzlehre geprüft werden soll, so muß das Mindestmaß von Temperatur, welche das Magma über seine eigene Schmelztemperatur hinaus mitbringen muß, um einschmelzend auf eine z. B. gleich große Masse anderer Gesteine wirken zu können, festgestellt werden. Sodann auch Zusammenschmelzen der verschiedenen Eruptiv- mit den verschiedenen Sediment- usw. Gesteinen und Versuche, durch sehr langsame Abkühlung ein Auskristallisieren auch solcher Mischgesteine, ebenso wie der reinen Eruptivgesteine, zu erreichen; Prüfung des Einflusses, den Druck und Wasser (falls sich das erreichen läßt) bei den Schmelzversuchen ausüben.

Es handelt sich um die Untersuchung aller der Bedingungen, unter denen die verschiedenen Arten der Eruptivgesteine entstehen. Wie sehr vieles da noch zu erforschen ist, ist bekannt.

Das ideale Endziel ist die Erkenntnis aller Vorgänge im Magma bei seiner Kristallisation zu Mineralien und Gesteinen und die künstliche Darstellung der verschiedenen Gesteinstypen. Allein zur Lösung dieser einen Riesenaufgabe würde es lohnen, vulkanologische Institute zu schaffen.

22. Systematik der Gesteine.

Wie die Systematik der Tiere und Pflanzen einst eine künstliche war und erst allmählich in eine natürliche umgewandelt wurde, in

der man dann der Blutsverwandtschaft Rechnung trug, so hat auch heute noch das System der Gesteine viel Künstliches an sich. Die Benennung mineralogisch und chemisch gleicher Gesteine mit ganz verschiedenen Namen, nur weil ihr geologisches Alter ein verschiedenes ist, bildet auf dem Gebiete der Systematik immer noch eine Ungeheuerlichkeit. Es ist das gleiche, als wenn man einen alten Menschen mit einem andern Gattungs- oder Speziesnamen bezeichnen wollte als einen jungen.

Vor der Umwandlung eingebürgerter Namen dürfte die Petrographie nicht zurückschrecken. Was will denn trotz der absolut nicht kleinen Zahl von Gesteinsarten bezüglich Namen diese gegenüber der Riesenzahl der Pflanzen- und Tierarten relativ so verschwindend kleine Zahl von Gesteinsnamen sagen! Ein Nichts. Und doch zögern nicht Botaniker und nicht Zoologen, selbst recht eingebürgerte Namen aufzugeben und durch andre, ungewohnte zu ersetzen, sobald dies um der Priorität willen nötig ist? Warum nicht Gleiches auch in der Petrographie? Kennen wir doch jetzt z. B. außer den paläozoischen schon mesozoische, ja jungmesozoische Granite, die wegen ihres jüngeren Alters niemand anders benennt als die uralten. Warum dann nicht auch die tertiären mit demselben Namen bezeichnen?

Selbstverständlich kann eine solche einschneidende Maßregel nur in internationaler Übereinstimmung getroffen werden; denn der einzelne, der solches unternehmen wollte, würde Schiffbruch leiden.

Aber nicht nur die Namen. Wie die Systematik der Tiere auf ihre Blutsverwandtschaft begründet und benannt ist, so ist auch die der Gesteine nach diesem Gesichtspunkt durchzuführen. Das ist ja allgemeines Verlangen; und längst spricht man von Blutsverwandtschaft der Gesteine und sieht die blutsverwandten als Gesteine einer petrographischen Provinz an.

Diese petrographische Frage aber ist wohl vorwiegend eine chemische.

Die Nebenprodukte des Vulkanismus.

Als solche fasse ich hier zusammen: vulkanische Beben, magmatische Beben, einen Teil der Thermen, Kontaktmetamorphismus, Regionalmetamorphismus.

23. Vulkanische Beben.

Ich erwähne hier nur diese Form der Beben, da sie wohl keine größeren Probleme darbietet.

24. Magmatische Beben.

Die überwiegende Mehrzahl der Geologen ist wohl der Ansicht, daß die übrigen Erdbeben zum allergrößten Teile tektonischer Natur sind. Ich meine jedoch, man muß hier dem Magma sein Recht in höherem Maße als bisher zuteil werden, in größerem Umfange als bisher magmatische Beben (kryptovulkanische, vulkanische Beben im weiteren Sinne) gelten lassen, die in dem Magma der Tiefe ihren Sitz haben. Namentlich da, wo das Zentrum tief liegt, scheint es mir klar, daß wir ein magmatisches Beben vor uns haben.

Die Ursache solcher kann als eine mehrfache gedacht werden: Intrusionen und deren Druck; Gasexplosionen in der Tiefe; Entstehung von Verbindungen unter Explosion; Ausdehnung der Silikate beim Erstarren oberhalb des maximalen Schmelzpunktes; Ausdehnung des Eisenmagmas (Eisenkernes) beim Erstarren unterhalb des maximalen Schmelzpunktes; Kristallisieren, daher Volumverminderung der Intrusivmassen; Volumverminderung beim Abkühlen der erhitzt, daher ausgedehnt gewesenen Intrusivmassen und ihres Nebengesteines, durch welche Volumverminderungen ein Absitzen der überliegenden Schichten stattfinden muß. Also eine ganze Anzahl von Ursachen magmatischer Beben, die der Probleme genug darbieten.

Das Auftreten von Beben in Kettengebirgen spricht durchaus nicht notwendig für ihre tektonische Natur, ebensowenig wie das Vorhandensein einer Spalte bei einem Vulkan notwendig für Abhängigkeit des letzteren von der Spalte sprechen muß. Die Spalte kann postvulkanisch entstanden, kann sogar direkt eine Folge des Vulkanismus sein. Ebenso kann auch ein Beben in einem Kettengebirge dennoch ein magmatisches sein. Wo feste Gesteine in die Höhe steigen — gleichviel ob infolge von Schrumpfung oder infolge von Isostasie oder infolge von Emporpressung — da kann und muß auch Magma ihnen folgen, kann und muß also auch das Magma Beben erzeugen. Niemand wird daran denken, daß bei diesen gebirgsbildenden Vorgängen die festen Gesteine in einer Spalte aufsteigen; sie tun das natürlich als Ganzes, als eine breite, ausgedehnte Masse. Warum sollen denn aber die hinter, d. h. unter diesen festen Gesteinen folgenden, zudem fest zusammengepreßten Magmamassen durchaus nur auf Spalten aufsteigen? Sie können offenbar ganz ebenso als eine große, zusammenhängende Masse den festen Gesteinen in die Höhe nachfolgen.

Entscheidend ist hierbei nur die Mächtigkeit der aufsteigenden festen Gesteinsmasse. Wenn nur die allerobersten Schichten der Erdrinde als Gebirge aufsteigen, dann muß der in größerer Tiefe befindliche Schmelzfluß, wenn er jenen folgen will, natürlich Spalten oder

Röhren benutzen, um durch die nicht mit aufsteigenden tieferen Schichten hindurchzukommen. Wenn dagegen das Aufsteigen der festen Massen bis auf einen dicht unter ihnen liegenden Magmaherd hinabgreift, dann wird letzterer selbstverständlich als ein Ganzes mit aufsteigen, d. h. nicht auf einer Spalte; und dieses Magma wird dann dabei rein magmatische Beben erzeugen können.

Eventuell werden dieselben auch kombinierte tektonisch-magmatische sein.

25. Regionalmetamorphismus.

Dieser ist eng mit dem Wirken des Magmas in der Tiefe verknüpft. Wenn auf weite Erstreckung hin die tiefliegenden Gesteine der Erdkrinde allmählich metamorphosiert worden sind, so dürfte die innere Erdwärme allein — abgesehen vom Druck — das nicht bewirkt haben; denn selbst in einer Tiefe von 20 km herrscht doch nur eine Temperatur von etwa 600°C . Es dürfte vielmehr wirksam sein eine Steigerung dieser, für die betreffende Tiefe sozusagen normalen Temperatur durch die so viel höhere Temperatur aufdringenden Magmas und aufsteigender, von ihm ausgehender Gase; dazu käme die Wirkung, welche die in diesen Gasen mitgeführten Substanzen ausüben.

Somit würde der Regionalmetamorphismus zum Teil ein Nebenprodukt des Vulkanismus sein; somit sein Wesen ebenfalls in den Forschungsbereich der Vulkanologie gehören.

26. Kontaktmetamorphismus.

Während die Beziehungen des Regionalmetamorphismus zum Vulkanismus ein Problem darstellen, das angestrengtester Forschung bedarf, liegen diejenigen des Kontaktmetamorphismus im allgemeinen klar vor Augen. Nur das Wesen der Pneumatolyse bedürfte doch, als hierher gehörig, noch weiterer Forschung, wie überhaupt die Wirkung der magmatischen Gase auf das Nebengestein.

27. Thermen.

Daß ein Teil der Thermen durch das Magma und seine Gase ins Dasein gerufen wird, ist wahrscheinlich. Da jedoch derartige Thermen sich kaum unterscheiden lassen können von solchen Thermen, deren Wärme lediglich durch die tieferen Horizonten eigene höhere Temperatur erzeugt wird, so muß es genügen, erstere als Nebenprodukt des Vulkanismus hier angeführt zu haben.

28. Vulkanismus auf anderen Gestirnen.

Vulkanismus ist eine allgemeine Erscheinung im Weltall, die auf jedem Gestirne zu gewisser Zeit seiner Entwicklung sich einstellen muß; die aber in den verschiedenen Entwicklungsstadien eines Gestirnes auch eine verschiedene Erscheinungsweise annehmen und durch verschiedene Ursachen hervorgerufen werden kann, wie ich das auf der Seite 813, Anmerkung 1, zitierten Arbeit ausführlich dargelegt habe.

Die Erforschung dieser Erscheinungsweisen und Ursachen des »allgemeinen« Vulkanismus bildet soweit ebenfalls eines der Probleme, um die es sich hier handelt. Dahin gehören ferner auch die Untersuchungen über die Natur der Mondgesteine auf Grund des von ihnen reflektierten Lichtes.

Vorschläge für die Gestaltung internationaler vulkanologischer Forschung.

Die Vorschläge, die ich dem Urteil der Vulkanologen unterbreiten und um deren Kritik sowie um deren weiteren Ausbau ich sie bitten möchte, habe ich bereits auf den früheren Seiten zum Teil gemacht. Sie beziehen sich auf die

Gründung eines Jahrbuches der vulkanischen Erscheinungen und die Ausführung desselben (S. 815);

Gründung einer internationalen, mehrsprachigen Zeitschrift für Vulkanologie; für diese würde ich weitere, buchhändlerische Angaben machen, wenn die Vulkanologen auf diesen Vorschlag eingehen sollten (S. 816);

Herausgabe von Karten, auf denen die geographische Lage der Vulkane zu den Meeresküsten in früheren Zeiten der Erdgeschichte dargestellt ist (S. 818). Es ist klar, daß diese Karten sowie die im folgenden zu erwähnenden nur sehr allmählich vollendet werden könnten.

Herausgabe von Karten, auf denen die stoffliche Natur der Schmelzherde bzw. der Spaltmagmen des atlantischen und pazifischen und intermediären Typus dargestellt ist (S. 820);

Herausgabe von Karten, auf denen versucht wird, die Größe der Schmelzherde darzustellen (S. 821).

Diesen Vorschlägen erlaube ich mir nun zum Schluß noch die weiteren Anregungen und Vorschläge hinzuzufügen:

Ein jeder Vulkanolog sollte sich dafür einsetzen, daß der Staat, dem er angehört, ein vulkanologisches bzw. geochemisches Institut gründe. Bei der Fülle der Vielseitigkeit und der Schwierigkeit der in Frage kommenden Probleme würde und müßte sich hier eine

Arbeitsteilung insofern ergeben, als das eine Institut mehr diese, das andere mehr jene Aufgaben sich stellte.

Es kann kein Zweifel sein, daß bei der Vielseitigkeit der Probleme der vulkanischen Forschung es völlig ungenügend sein würde, wenn man versuchen wollte, nur ein einziges internationales Institut der Vulkanforschung ins Leben zu rufen; ganz abgesehen davon, daß die Aufgaben zum Teil (z. B. Nr. 1, 2, 3, 4) sich überhaupt nur erfüllen lassen, wenn viele Völker daran arbeiten; und ferner abgesehen davon, daß die Gründung dieses einzigen Instituts bei der erklärlichen Eifersucht der Völker nicht gelingen würde. Es stellt sich vielmehr als höchst wünschenswert heraus, daß möglichst viele der Kulturvölker es als ihre Aufgabe betrachten müßten, ein solches Institut zu errichten.

Schon sind die Vereinigten Staaten von Nordamerika den anderen Völkern zuvorgekommen, indem sie in Washington mit den Mitteln des Hrn. CARNEGIE ein solches Institut errichteten. Schon ist auch Rußland auf dem Wege, ein den gleichen Zwecken dienendes Institut zu errichten. Schon scheint auch Italien, welches ja bereits ein staatliches Institut zur Erforschung des Vesuvs besitzt, noch ein, allerdings wohl kleines zweites, allgemeiner vulkanologischer Forschung dienendes Institut zu erhalten, welches dort aus den privaten Mitteln des Hrn. J. FRIEDLÄNDER ins Leben gerufen werden soll.

Wollen die anderen Kulturvölker sich von den genannten übertreffen, in den Schatten stellen lassen? Wollen sie bei einem Forschungsgebiete von so überaus großer Bedeutung es nicht vielmehr auch als eine Ehrensache betrachten, ebenfalls der Erforschung der vulkanischen Vorgänge dienende Institute zu errichten?

Wenn ich in kurzen Zügen das Idealbild kennzeichnen soll, das meiner Ansicht nach diese Institute erhalten müßten, so will mir scheinen, daß eine Angliederung derselben an schon bestehende andere Institute und damit eine Unterordnung unter die Leiter dieser letzteren als schädlich bezeichnet werden müsse; mindestens gilt das für deutsche Verhältnisse.

Der Leiter irgendeines, in erster Linie dem Unterrichte gewidmeten Institutes würde infolge der durch sein Amt bedingten Beschlagnahme seiner Kräfte und seiner Zeit nicht imstande sein, mit Erfolg gleichzeitig auch noch die Leitung eines zweiten, nur der reinen Forschung dienenden Institutes zu übernehmen.

Aber davon abgesehen, würde auch der Inhalt der vulkanischen Forschung, die sich zum großen Teile auf physikalisch-chemischem Gebiete, zum andern Teil auf petrographisch-geologischem Gebiete bewegt, sich mit dem Inhalt keines der bestehenden Institute decken:

weder mit dem eines geologischen, das in der historischen Geologie und in einem großen Teil der allgemeinen Geologie völlig andere Ziele verfolgt; noch mit dem eines mineralogischen Institutes, das in der Untersuchung der einzelnen Mineralien ganz andere Gebiete zu pflegen hat; noch mit dem einer geologischen Landesanstalt, deren erste und wesentlichste Aufgabe doch — trotz aller Wissenschaftlichkeit — auf die Erforschung des engsten Vaterlandes beschränkt sein soll; noch mit dem eines physikalischen und vollends nicht mit dem eines geographischen Institutes, denen beiden gerade die Chemie und die Petrographie völlig fernliegen, um die es sich hier handelt.

So ergibt sich meines Erachtens klar, daß das anzustrebende Ideal nur in durchaus selbständigen vulkanologischen Forschungsinstituten liegen würde, die keine Unterrichtszwecke verfolgen, an kein anderes Institut angegliedert sind, keinem anderen untergeordnet sind und zum Leiter entweder einen physikalischen Chemiker haben, dem ein petrographisch gebildeter Geologe beigeordnet ist, oder umgekehrt einen petrographisch durchgebildeten Geologen, dem ein physikalischer Chemiker zur Seite steht.

Wo ein solches selbständiges Forschungsinstitut nicht zu erlangen ist, sollte wenigstens die Errichtung eines zugleich dem Unterrichte dienenden vulkanologischen Institutes angestrebt werden.

Gleichgültig ist, wie man sie benennen will, ob »vulkanologische« oder »geochemische«; denn letzterer Name wäre wohl nicht unberechtigt da, wo man die Überfülle von physikalisch-chemischen Fragen, die uns hier entgegentritt, besonders ins Auge fassen will.

Endlich sollte doch auch ein engerer Zusammenschluß aller Vulkanologen der Erde erfolgen, damit in von Zeit zu Zeit stattfindenden internationalen vulkanologischen Kongressen gemeinsame Arbeit besser gefördert werden kann als bisher. Ob das auf den bereits bestehenden geologischen Kongressen zu geschehen hätte — ähnlich wie z. B. in Stockholm der bodenkundliche Kongreß neben dem internationalen geologischen tagte — oder ob auf gesonderten Kongressen, das erscheint mir sehr nebensächlich. Wichtig, entscheidend wäre nur der engere Zusammenschluß.

Ich schließe mit dem Hinweis auf die, S. 812 ausgesprochene Bitte an die Vulkanologen aller Länder, die Sache fördern und klären zu wollen durch Mitteilung von Meinung und Kritik über diese Vorschläge, gleichviel, ob sie beistimmend oder gegensätzlich sind.