

SITZUNGSBERICHTE

1903.
XXXVI.

DER

KÖNIGLICH PREUSSISCHEN

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

Sitzung der physikalisch-mathematischen Classe vom 16. Juli.

Zur Spaltenfrage der Vulcane.

Von W. BRANCO.

Zur Spaltenfrage der Vulcane.

VON W. BRANCO.

Theil I.

I. Widerlegung der Einwendungen gegen die Ansicht, dass vulcanische Ausbrüche unabhängig von präexistirenden Spalten entstehen können.

Gegen die von mir in früheren Arbeiten¹ vertretene Ansicht, dass vulcanische Kräfte sich selbständig einen Ausweg zu bahnen vermögen, sind von mehreren Autoren Einwendungen erhoben worden. So von BERGEAT², FELIX und LENK³ und HÖRNES.⁴

In dem Glauben, dass die Macht der Thatsachen ganz von selbst die Anerkennung dessen, was ich vertrat, herbeiführen müsse, habe ich bisher auf diese Einwürfe nicht geantwortet. Da solche jedoch noch in allerneuester Zeit wiederum erfolgten und aus ihrer Nichtbeantwortung doch der Schluss gezogen werden könnte, dass ich sie als berechtigt anerkennen müsse, so glaube ich zu einer Widerlegung derselben gezwungen zu sein; wobei sich freilich einzelne Wiederholungen schon früher Gesagten nicht vermeiden lassen.

Gegen die herrschende Lehrmeinung hatte ich mich in meinen Ausführungen damals gewendet. Es ist daher unerlässlich, vorerst kurz festzustellen, was in dieser Frage von der Abhängigkeit der

¹ W. BRANCO, Schwabens 125 Vulcan-Embryonen. Jahreshefte des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg, Bd. 50, 1894, S. 505—997 und Bd. 51, 1895, S. 1—337. W. BRANCO, Neue Beweise für die Unabhängigkeit der Vulcane von Spalten. Neues Jahrbuch für Miner., Geol., Pal. 1898, I, S. 175—186. BRANCO und E. FRAAS, Das vulcanische Ries. Abhandlung dieser Akademie 1900, S. 15 ff. E. FRAAS, Erläuterungen zu Blatt Kirchheim der geologischen Karte von Württemberg 1898.

² Die äolischen Inseln. Abh. d. K. Bayerischen Akad. d. Wiss. II. C., Bd. XX., I. Abth., S. 251—270. — Zur geographischen Verbreitung der Vulcane. Geograph. Zeitschr. von HETTNER, Bd. VIII, 1902, S. 160—163. — Neues Jahrbuch für Miner., Geol., Pal. 1902, Bd. II, S. 40. — Centralblatt für Miner., Geol., Pal. 1902, S. 718—725.

³ Zur Frage der Abhängigkeit der Vulcane von Dislocationen. Centralblatt für Miner., Geol., Pal. 1902, S. 449—460.

⁴ Die vulcanischen Ausbrüche auf den kleinen Antillen Mitth. naturwiss. Verein. f. Steiermark 1902, S. LXXXIV und XCII.

Vulcane von Spalten überhaupt als Lehrmeinung betrachtet werden musste; und das um so mehr, als es sich zeigt, dass, wie mir scheint, schon BERGEAT, sicher aber FELIX und LENK, gar nicht mehr voll und ganz auf dem Boden dieser Lehrmeinung stehen.

Sicher werden die Lehrbücher den besten Aufschluss in dieser Beziehung geben.

Im Anfang des vorigen Jahrhunderts herrschte die Ansicht, dass die vulcanischen Kräfte selbständig sich Auswege aus der Tiefe zu bahnen vermöchten. Diese Ansicht war verbräunt mit phantastischen Vorstellungen; mit letzteren ward daher auch erstere vollständig beseitigt.

POULETT SCROPE¹, der erfolgreich gegen diese Lehre L. VON BUCH's und A. VON HUMBOLDT's von den Erhebungskratern und von der Fähigkeit des Magmas, sich selbst befreien zu können, den Kampf eröffnete, erklärte es umgekehrt als »Normalregel, dass eine vulcanische Explosion nur als Folge des Entstehens eines linienförmigen Spaltenrisses in den festen, überliegenden Gesteinen« aufzufassen sei.

SCROPE hat der Gewalt explosiv werdender Gase hierbei noch eine so grosse Rolle eingeräumt, dass es fraglich werden könnte, ob er sich diese Spalten wirklich offen oder aber geschlossen vorgestellt hat.

Es lässt sich aber deutlich erkennen, dass der weitere Ausbau dieser Auffassung bei den Späteren mehr und mehr dahin geführt hat, dass man sich die Spalten als geöffnet vorstellte. Das war auch nur consequent; denn wenn eine Spalte so fest zusammengepresst, geschlossen ist, dass der Schmelzfluss sich nur durch die heftigsten Gasexplosionen den Ausweg selbst bereiten kann, dann ist die Spalte Nebensache und die Selbstbefreiung des Schmelzflusses durch seine Gase wird wieder Hauptsache.

Wollte man also die früher behauptete Fähigkeit des Schmelzflusses, sich selbst befreien zu können, als unrichtig erklären und seine Ausbrüche als nur abhängig von der gebirgsbildenden Kraft, von Spalten hinstellen, so musste man folgerichtigerweise offene Spalten annehmen und that das auch.

Wie die untenstehenden Citate² darthun, liesse sich also die Lehrmeinung mit Recht so definiren:

¹ POULETT SCROPE, Über Vulcane. 2. Aufl. Übersetzt von VON KLÖDEN. Berlin 1872, S. 219.

² VON HAUER (Die Geologie und ihre Anwendung a. d. Österr.-Ungar. Monarchie, Wien 1875, S. 69) sagt, die reihenförmige Anordnung der Vulcane deute darauf hin, dass sie auf einer fortlaufenden Spalte der Erdrinde ständen, durch welche die Verbindung der Oberfläche mit dem Erdinnern vermittelt werde.

Ähnlich behandelt GÜMBEL diese Frage, indem er ganz im Sinne dieser Lehre ungefähr Folgendes sagt: Das Magma steht in der Tiefe unter hohem Drucke. Wenn

»Der Schmelzfluss kann sich nicht selbst befreien. Die Entstehung aller Vulcane ist vielmehr bedingt durch das vorherige Bestehen offener Spalten, die vom Schmelzherd bis an die Oberfläche reichen; dass diese Spalten als offene angesehen werden, geht daraus hervor, dass man sagt, der Schmelzfluss werde von dem auf ihm lastenden Drucke der Erdrinde befreit, sobald eine solche Spalte aufreisse; denn in einer geschlossenen Spalte könnte das doch nicht der Fall sein.

Wer folgern wollte: »Der Schmelzfluss kann sich nicht selbst Auswege bahnen, er braucht nothwendig dazu präexistirende Spalten. Wenn freilich die Spalten fest geschlossen sind, so öffnet er sich selbst seinen Ausweg durch Explosionen« — der widerriefe ja im zweiten Satze das, was er im ersten behauptet hätte!

Wer also die Abhängigkeit der Vulcane von Spalten völlig vertritt, der muss hierbei logisch mehr oder weniger offene Spalten im Auge haben.

man (Grundzüge der Geologie 1888, S. 362) eine Entlastung des in der Tiefe fest zusammengedrückten Magmas »in Folge der Entstehung und der Eröffnung von Klüften« eintritt, wird dasselbe sofort flüssigen oder doch flüssigeren Zustand annehmen, sich damit ausdehnen und »in den offenen Spalten oder Klüften aufsteigen«.

Dasjenige Lehrbuch der Geologie, welches eine Fülle von Auflagen erlebte und noch erlebt, von H. CREDNER, sagt z. B. in seiner 4. bis 8. Auflage (Elemente der Geologie, Leipzig 1878 und 1897, S. 155), dass durch den Druck der sich zusammenziehenden Erdrinde »Theile des gluthflüssigen Magmas in die vorhandenen Spalten der Kruste gepresst werden, in welchen sie entweder zu Gängen erstarren oder bis zur Oberfläche aufsteigen«. Dass diese vorhandenen, also präexistirenden Spalten als offene gedacht sind, geht sicher aus diesen Worten hervor; denn in Haarspalten würde das Magma nicht emporgespresst werden können. Erst in der 9. Auflage (1902) heisst es dann, dass neben den Vulcanen, welche in Folge von Spaltenbildung entstehen, auch solche zu unterscheiden sind, die, unabhängig von Spalten, durch Explosionen, wohl aus flachgelegenen Herden, sich bilden.

E. KAYSER (Lehrbuch der Allgemeinen Geologie, Stuttgart 1893, S. 381) sagt gleichfalls ungefähr: »Die Vulcane sind überall von tief in die Kruste hinabreichenden Spaltenzügen, insbesondere auch von Versenkungen abhängig. Die plötzliche Entlastung des Magmas durch eine bis in grosse Tiefe hinabreichende Spaltenbildung ruft massenhafte Entbindung der Gase des Magmas hervor. Diese stürmische Gasentwicklung bewirkt wesentlich den Auftrieb der Lava (offenbar doch in der offenen Spalte). Ist daher das Magma gasarm, so bleibt es in der Tiefe stecken, es entstehen Lakkolithe. Ist es aber reich an Gasen« — und hier finden wir dann bereits 1893 das ausgesprochen, was ich vertrete — »so werden diese bei ihrer ungeheuren Kraft nicht nur sich selbst einen Weg durch die ganze Dicke der festen Kruste zu bahnen im Stande sein, sondern auch grosse Mengen Magma mit emporreissen.«

Als eine grosse Spaltenphantasie muss man die Arbeit von CARL WÄGLER bezeichnen (Zur geographischen Verbreitung der Vulcane. Dissertation, Leipzig. Mittheil. des Vereins für Erdkunde 1901). Hier werden Bruchspalten der Erdrinde am grünen Tische construirt bez. doch als möglich besprochen, die 1000—3000 km Länge besitzen müssten!

Gegen diese Lehre hatte ich, gestützt auf Thatsachen, mich damals gewendet und die Ansicht vertreten, dass der Schmelzfluss unter Umständen doch im Stande sei, sich selbst zu befreien.

Unter den nun gegen diese meine Darlegungen erhobenen Einwürfen würde, wenn er berechtigt wäre, der von BERGEAT erhobene der schwerwiegendste sein. Dieser Autor sagt nämlich:

»Bisher hat man vergeblich auf eine triftige Erklärung der Erscheinung seitens BRANCO's . . . gewartet«, dass die Vulcane sich meist in Gegenden befinden, welche wir allgemein als Bruchgebiete der Erde auffassen.

Dieser Einwurf erledigt sich indessen leicht; denn bei etwas genauem Lesen meiner Arbeit würde er gar nicht gemacht sein können, wie aus meinen untenstehenden Worten so zweifellos hervorgeht, dass ich denselben kein weiteres erläuterndes Wort hinzuzufügen nöthig habe.¹

Genau dasselbe aber gilt auch von der Differenz, welche BERGEAT finden zu können glaubt zwischen den von A. GEIKIE und den von mir in dieser Hinsicht ausgesprochenen Ansichten. Auch hier würde genaueres Lesen meiner Worte diesen Einwurf verhindert haben, wie ebenfalls aus der untenstehenden Wiedergabe meiner Worte sicher hervorgeht; denn ich habe ausdrücklich meine Übereinstimmung mit GEIKIE betont.²

¹ Vulcan-Embryonen, Th. II, Cap. VIII, S. 623 ff., 635. Ich hebe die entscheidenden Stellen meiner Arbeit im Druck hervor.

»Es scheint mithin, dass die vulcanischen Kräfte doch die Gewalt haben, sich auf eine beträchtliche Länge den oberen Theil ihres Weges selbständig durch die Erdrinde zu bahnen, unabhängig (hier, in diesem oberen! Theile natürlich) von gröberen Bruchlinien und Verwerfungen. Ob vielleicht doch ganz feine Haarspalten als Fortsetzung der in der Tiefe befindlichen gröberen Bruchlinien bis an die Oberfläche setzen und so den explodirenden Gasen den Weg anzeigen?« . . . »Aber zwischen einer solchen feinen Haarspalte und den (bis an die Oberfläche reichenden groben) Bruchlinien und Spalten, welche nach allgemeiner Annahme nothwendige Vorbedingung zum Entstehen vulcanischer Ausbrüche sind, besteht doch ein gewaltiger Unterschied«.

»Wie weit geht nun aber diese Unabhängigkeit der vulcanischen Kanäle von Spalten, bis in welche Tiefe hinab reicht sie?« Im Gebiete von Urach lässt sie sich, wie ich ausführte, erkennen, als bestehend bis in eine Mindesttiefe von 800^m (im Gebiete von Schottland sogar bis zu 2600^m) hinab. Es entzieht sich aber darüber hinaus in der Tiefe jeglicher Beobachtung und Schätzung, auf eine wie grosse Länge bez. Tiefe diese Durchbruchsröhren unabhängig von präexistirenden Spalten ausgeblasen sind.

² In der einige Jahre später erschienenen kleinen Abhandlung: »Neue Beweise für die Unabhängigkeit der Vulcane von präexistirenden Spalten« (Neues Jahrbuch f. Min., Geol., Pal., 1898, I, S. 182) habe ich, GEIKIE's Worte citirend, gesagt: »Wohl mögen in der Tiefe Spalten vorhanden sein, auf welchen die Lava in ein höheres Niveau aufsteigt. Es ist jedoch sicher, dass vulcanische Energie die Kraft besitzt, sich

Die Einwendungen BERGEAT's gegen die in meinen beiden Arbeiten bisher geäußerten Anschauungen sind mithin unberechtigt.

Anderer Art sind die von FELIX und LENK gemachten Einwürfe. Diese beiden Autoren verschliessen sich zwar nicht der von mir betonten Thatsache, dass vulcanische Ausbrüche unabhängig von vorherigen Spalten zu entstehen vermögen. Indessen sie suchen doch abschwächend darzuthun, dass die Zahl der von mir als beweisend aufgeführten Vorkommen lediglich auf die beiden vulcanischen Gebiete von Urach und der Sächsischen Schweiz bisher beschränkt sei.

Es wäre nun von vornherein unwahrscheinlich, dass eine solche Thatsache, nachdem sie einmal in zwei Gebieten festgestellt worden ist, lediglich auf diese beiden beschränkt sein sollte. Letzteres ist denn auch nicht der Fall; vielmehr muss der Versuch FELIX' und LENK's, die anderen von mir aufgeführten Gebiete auszumerzen, als ein verfehlter bezeichnet werden.

Zunächst einmal gilt das bezüglich der Rhön. Hier meinen die ~~beiden Autoren~~ ^{t Lenk} »einen Irrthum BRANCO's berichtigen zu müssen«. »BRANCO glaubt den Mittheilungen BÜCKING's entnehmen zu dürfen, dass die Rhön ein von »Hundertern!« von Tuffröhren durchbohrtes, dem Uracher Maargebiet analoges darstelle.«

Indessen meine Angabe war durchaus richtig, der Irrthum liegt umgekehrt bei ~~FELIX und LENK~~, wie eine soeben erschienene Arbeit BÜCKING's¹ zweifellos darthut:

Allein schon auf vier Messtischblättern, also auf etwa nur neun Quadratmeilen Fläche, hat BÜCKING mehr als 400 Durchbrüche von Basalt und Phonolith festgestellt und eingehend untersucht, und bei noch nicht einmal zehn derselben hat er wirklich Spalten aufgefunden, auf denen das vulcanische Material aufgedrungen sein könnte. Also nicht nur die von mir angeführte Thatsache an sich, sondern auch die »Hunderte«, die von FELIX und LENK als etwas vollends Unglaubliches gekennzeichnet werden, sind buchstäblich vorhanden; ja, sie sind es bereits auf kleinstem Gebiete. Wie viele weitere Hunderte mögen nun im Ganzen noch dazu kommen!

selbst eine Öffnung durch den oberen Theil der Erdrinde auszublase, ohne das vorherige Dasein einer sichtbaren Spalte« — also diese Worte citirend habe ich gesagt:

»Ganz dieselbe letztere Ansicht hatte ich seiner Zeit geäußert« und meine Vorstellung dieser Dinge damit also völlig mit der GERLAND's identifizirt; auch (ebenda, S. 185) gesagt, »dass ein anderer Theil der Vulcane dennoch von solchen (bis an die Erdoberfläche reichenden) Spalten abhängig sein« möge.

¹ BÜCKING, Über die vulcanischen Durchbrüche in der Rhön und am Rande des Vogelsberges. GERLAND, Beiträge zur Geophysik. Bd. 6, 1903, S. 267—308, speciell auch S. 272 Anm.

Ob diese Röhren mit Tuff erfüllt sind oder nur mit Trümmern durchbrochenen Gesteines, ob sie mit Beidem oder dazu noch mit festem Schmelzflusse, oder ob sie endlich nur mit letzterem erfüllt sind — das ist natürlich ganz nebensächlich für die vorliegende Frage. Je stärker eine solche Röhre durch die Erosion abgetragen wird, in je tieferes Niveau der Röhre man also gelangt, desto mehr wird sich im Allgemeinen fester Schmelzfluss als Ausfüllungsmasse zeigen; bis man schliesslich, bei gänzlicher Abtragung der Röhre, auf den grossen Schmelzkuchen, den ehemaligen Magmaherd, bezüglich auf seine Ausläufer in Spalten, trifft, von dem aus die Röhren entstanden.¹ Die Beschaffenheit der Füllmasse, ob lose oder fest, ist also nicht nur an sich nebensächlich für diese Frage der Unabhängigkeit von Spalten, sondern auch ausserdem noch bedingt durch die Stärke der Abtragung.

Ist es somit ein gänzlich verfehelter Versuch, wenn ~~FELIX~~ und LENK die Rhön aus der von mir seiner Zeit aufgeführten Beweisreihe streichen zu können glauben, so gilt genau dasselbe, wenn ~~sie~~ auch die vulcanischen Durchbruchsröhren Schottlands aus der eigentlichen Beweisreihe darum entfernen ~~wollen~~, weil es sich hier um keine Tafelgebirge handle. Ich kann das um so weniger anerkennen, als FELIX und LENK an anderer Stelle wieder durchaus zugeben, dass die Explosionsröhren von Schottland wirklich unabhängig von Spalten entstanden sind. Ob dort der Bau in der Tiefe ein anderer ist als unter der Schwäbischen Alb, ob also dort klaffende Spalten in der Tiefe vorhanden sind, hier nicht, das entzieht sich doch jedem sicheren Urtheile; das könnte daher auch kein Grund sein, die schottischen Vorkommen in dieser Frage für nicht oder auch nur für weniger beweisend für das, was ich gesagt hatte, anzusehen als die schwäbischen.

Es unterliegt jedenfalls gar keinem Zweifel, dass auch dieses Gebiet einen vollgültigen Beweis bildet für die Fähigkeit der vulcanischen Kräfte, sich selbständig Wege durch die Erdrinde zu bahnen. Auch hier ist ganz vor Kurzem abermals eine Arbeit erschienen, in der A. GEIKIE² zu dem Ergebnisse gelangt:

Dass auch im östlichen Theile der Grafschaft Fife die vulcanischen Explosionskanäle vollständig unabhängig sind von präexistirenden Brüchen oder irgend welchen sichtbaren tektonischen Linien; dass sie vermitteltst explodirender Gase durch die carbonischen Schichten hindurchgeschlagen sind; und dass sich diese Unabhängigkeit von Spalten nachweisen lässt auf eine Länge bez. Tiefe dieser Röhren, die selten weniger als 2000, bisweilen sogar 7000—8000 Fuss beträgt.

¹ Vergl. BRANCO, Vulcan-Embryonen. Theil II, Capitel IX, S. 669.

² A. GEIKIE, The volcanic necks of East Fife. Glasgow 1902.

So haben wir also keineswegs, wie FELIX und LENK behaupten, eigentlich nur in der Schwäbischen Alb und Sächsischen Schweiz¹ Beweise, sondern auch die Rhön und mehrfach in Schottland, trotz der dagegen erhobenen Einwendungen, liefern vollgültige Beweise für Unabhängigkeit vulcanischer Ausbrüche von präexistirenden Spalten, insofern, als hier durch den sichtbaren Theil der Erdrinde mittelst explodirender Gase Röhren hindurchgeschlagen wurden.

Mit diesen vier bez. fünf Gebieten ist jedoch die Reihe dieser Gebiete keineswegs erschöpft.

Zunächst habe ich soeben auch für die Gries-Breccien des Vorrieses² gezeigt, dass diese denkbar frühesten Stadien embryonaler vulcanischer Bildung unabhängig von Spalten entstanden sein müssen.³

In gleicher Weise sagt M. BAUER⁴ von den Basaltdurchbrüchen Niederhessens, dass »eine Beziehung der Basalteruptionen zu den das Gebiet durchziehenden Dislocationsspalten im Allgemeinen nicht zu beobachten ist; die Eruptionen scheinen ganz unabhängig von letzteren auf isolirten Kanälen stattgefunden zu haben.«

Auch BÜCKING berichtet weiter, dass er, ausser in der Rhön, annähernd das gleiche Ergebniss auch noch bei seinen geologischen Arbeiten am östlichen Rande des Vogelsberges, im westlichen Spessart und am südwestlichen Rande des Thüringer Waldes erhalten habe.⁵

E. TIETZE⁶ hat auf Schlesisch-Mährischem Gebiete, und zwar auf dem Plateau des Gesenkes der Sudeten, ebenfalls eine kleine Anzahl (sieben) von Basaltdurchbrüchen besprochen, welche vermuthlich auch einen weiteren Beweis für die Unabhängigkeit vulcanischer Eruptionen von präexistirenden Spalten bilden werden. E. TIETZE sagt: »Endlich sei hier noch hervorgehoben, dass die präexistirende Tektonik des Grauwackengebietes unserer Karte durch die Basaltausbrüche daselbst nicht weiter beeinflusst wurde, und dass sich auch andererseits ein Einfluss jener Tektonik auf diese Ausbrüche nicht feststellen lässt, dass sogar eine besondere Gesetzmässigkeit in der Verbreitung der verschiedenen Eruptionspunkte nicht nachweisbar ist.«

¹ Bezüglich der Sächsischen Schweiz möchte ich die Worte von BECK und HIRSCH anführen, Erläuterungen zu Section 104, Grosser Winterberg—Tetschen, S. 62): »Eine Gesetzmässigkeit in der örtlichen Vertheilung der Basalte lässt sich im Allgemeinen nicht erkennen, vielmehr ordnen sich die einzelnen Basaltdurchbrüche durchaus nicht auf bestimmten Linien an und liegen auch abseits der Bruchzonen im Quadergebirge.

² Siehe diese Sitzungsber. 1903. Die Gries-Breccien des Vorrieses u. s. w.

³ Sitzungsberichte dieser Akademie 1903. Ebenda II.

⁴ Diese Sitzungsber. 1900.

⁵ A. a. O. S. 271.

⁶ Erläuterungen zur geologischen Karte der Österreichisch-Ungarischen Monarchie. FREUDENTHAL, Wien 1898, S. 85. Siehe auch Verhandlungen der k. k. geol. Reichsanstalt 1900, S. 67.

Auch in Irland, südöstlich an der Waterford-Küste, könnte dasselbe in grösserem Maasse vielleicht stattgefunden haben. COWPER REED beschreibt¹ hier eine ganze Zahl von Explosionsröhren, die theils mit nichtvulcanischem Material, also nur dem zerschmetterten Sedimentgesteine², theils mit Eruptivmaterial gefüllt sind, das basisch, aber auch felsitisch ist. Allem Anschein nach handelt es sich hier, wie auch SALOMON³ ausspricht, um Vorkommen, welche den Tuffröhren des Gebietes von Urach gleichwerthig sind, nur ihr Alter ist ein sehr viel höheres, prädevonisches. Dass auch hier eine Unabhängigkeit von präexistirenden Spalten nachgewiesen wäre, ist freilich nicht gesagt. Das Ähnliche des Auftretens macht das nicht unwahrscheinlich; aber der Verfasser geht auf die Frage, ob Spalten den Explosionen zu Grunde liegen oder nicht, überhaupt nicht ein. Ich führe daher dieses Gebiet mit grösstem Vorbehalte auf.

Bezüglich der Auvergne bestätigt sodann A. GEIKIE⁴ die von mir ausgesprochene Vermuthung⁵, dass auch dort unter gleichen Bedingungen sich derartige Durchbruchsröhren gebildet hätten.

Von dem vulcanischen Mt. Johnson in den Monteregian Hills, Canada⁶, sagt ganz neuerdings FRANK ADAMS, dass der Vulcan in ähnlicher Weise wie die in Württemberg und Schottland auftretenden Durchbruchsröhren durch explodirende Gase entstanden sei, welche die bis dahin horizontalen Schieferschichten durchschlugen. Die Zeit dieses Ereignisses fällt in die spätere paläozoische.

Auch DUTTON⁷ ist — ich muss nach GEIKIE und BÜCKING citiren, da mir das Werk fehlt — hinsichtlich vulcanischer Röhren, welche das Plateau von Utah durchsetzen, zu demselben Ergebnisse gelangt, dass hier der Vulcanismus unabhängig von präexistirenden Spalten sich seine Ausbruchsröhren durch die Erdrinde geschlagen habe.

An anderer Stelle habe ich bereits hervorgehoben, dass für America jetzt bereits nicht nur A. STÜBEL⁸, sondern auch E. BÖSE⁹ und, wenn auch nicht so bestimmt, BODENBENDER¹⁰ sich dafür aussprechen, dass

¹ Quarterly journal geolog. soc. London, Bd. 56, 1900, S. 657—693.

² Seite 670.

³ Neues Jahrbuch f. Min., Geol., Pal. 1902, II, S. 70.

⁴ A. a. O. S. 202.

⁵ Schwabens Vulcan-Embryonen S. 748—50.

⁶ The journal of geology, Chicago, Vol 11, 1903, p. 242, 279.

⁷ Geolog. a. geograph. survey of the territories of U. St. 1880, p. 62.

⁸ Die Vulcanberge von Ecuador, Berlin bei Asher, 1897 und Über die genetische Verschiedenheit vulcanischer Berge, Leipzig bei M. Weg, 1903.

⁹ Sobre la independencia de los Volcanes de grietas preexistentes. Memorias de la sociedad »Alzate« de Mexico, Tomo 14, p. 199—231.

¹⁰ Profiles géologiques transverseaux de la Cordillère Argentino-Chilienne. Anales del Museo de la Plata, 1900, Th. I.

in den betreffenden Gebieten die Vulcane von Spalten unabhängig seien.

Nachdem also seit kaum zehn Jahren das Augenmerk auf diese Frage gerichtet ist, hat sich bereits eine so stattliche Reihe von zwölf Autoren für Unabhängigkeit der Vulcane von Spalten in den von ihnen untersuchten neunzehn Gebieten ausgesprochen! Mag selbst in einzelnen Fällen die Möglichkeit eines Irrthums angenommen werden — wer wollte ernstlich behaupten, dass diese Beobachtungen meist unrichtig wären?

So ergibt sich, dass jetzt bereits thatsächlich in sehr verschiedenen Gebieten Europas und Americas, und zwar sowohl in tertiärer als auch schon in paläozoischer Zeit immer wieder dieselbe Möglichkeit einer Unabhängigkeit vulcanischer Ausbrüche von präexistirenden Spalten erwiesen ist. Selbstverständlich lässt sich diese Aussage nur für den uns sichtbaren Theil der Erdschichten erweisen. Die Zustände in der Tiefe entziehen sich dem Auge, es kann daher thatsächlich Beobachtetes über diese nicht ausgesagt werden.

Wieder anderer Art ist der Einwurf, welchen R. HÖRNES macht, indem er schreibt, dass ich mit meinen Anschauungen alten, längst widerlegten Irrthümern L. VON BUCH's und A. VON HUMBOLDT's auf's Neue huldige. Dem ist indessen nicht so.

Jene beiden Männer haben allerdings eine phantastische Vorstellung von dem Vorgange der Entstehung eines Vulcans gehabt. Aber der Grundgedanke, von dem sie ausgingen, war doch der, dass der Schmelzfluss aus der Tiefe sich selbst einen Ausweg zu bahnen vermöge.

Da nun im Vorhergehenden gezeigt wurde, dass in der That der Schmelzfluss sich selbst befreien kann, so war es nur logisch, wenn ich in meiner Arbeit ausführte, dass in den Aufzeichnungen jener beiden Männer dieser richtige Grundgedanke enthalten gewesen sei. Das Andere, was irrthümlich an ihren Anschauungen über die Erhebungskratere war, ist von mir natürlich nicht als richtig ausgegeben worden.

Bei ganz anderer Gelegenheit dann, bei Besprechung der Frage, ob unterirdischer Schmelzfluss, wenn er Intrusionen, speciell Lakkolithen bildet, nur in präexistirende Hohlräume der Erdkruste zu treten vermag, oder ob er im Stande ist, sich selbst diese Hohlräume zu schaffen, indem er die überliegenden Schichten hochhebt — nur also mit Bezug auf Intrusionen, nicht aber auf Vulcanberge — habe ich dann

weiter gesagt, dass selbst in der Anschauung L. von BUCH's und A. von HUMBOLDT's, nach welcher die Erdrinde local blasenförmig aufgetrieben werde, möglicherweise doch ein nicht ganz unrichtiger Kern stecken könne. Nämlich dann, wenn wirklich das intrusive Magma die Erdrinde blasenförmig aufzutreiben vermöge.

Nun wird diese Fähigkeit des intrusiv werdenden Magmas allerdings von manchen Forschern bestritten, und behauptet, auch hier seien es andere, wiederum gebirgsbildende, Kräfte, welche die betreffenden Hohlräume vorher erzeugt hätten.

Es sind aber doch auch viele Forscher der durchaus entgegengesetzten Ansicht, dass der Schmelzfluss sich diese Räume selbst erst schaffe, indem er die Erdrinde an den betreffenden Stellen auftreibe. Auch haben die americanischen wie andere Geologen uns solche über ihre Umgebung aufragenden rundlichen Berge mit Lakkolith-Kernen kennen gelehrt, deren Schichten allseitig im Sinne des Bergabhanges fallen.

Das sind doch in der That blasenförmige Auftreibungen der Erdrinde, und es kommt nun für die vorliegende Frage nur darauf an, wer sie hervorgerufen hat, die gebirgsbildende Kraft oder der Schmelzfluss. Ich werde sogleich den Grund angeben, welcher mir beweisend dafür zu sein scheint, dass der Schmelzfluss die Hohlräume schaffen, also die Erdrinde blasenförmig auftreiben kann.

Zuvor muss ich jedoch ein Hinderniss ausschalten: Es könnte nämlich hier der Einwurf gemacht werden, dass es sich lediglich um ein Streiten mit Worten handele; insofern, als ja auch dem Magma seine hebende, pressende, empordrängende Kraft nur durch die gebirgsbildende mitgetheilt werde. In letzter Linie sei es also doch die gebirgsbildende Kraft, welche die Hohlräume schaffe.

Ich will davon absehen, dass es Forscher giebt, welche diese empordrängende Kraft des Magmas gar nicht auf den Gebirgsdruck zurückführen, sondern auf eine, in einem gewissen Stadium der Abkühlung erfolgende Ausdehnung des Magmas. Ich will also davon absehen und annehmen, es sei bewiesen, dass der Schmelzfluss nur durch den Druck der sich zusammenziehenden bez. einsinkenden Erdrinde emporgepresst würde. Dann könnte der obige Einwurf vielleicht gemacht werden. Aber er wäre ebenso wenig berechtigt, wie es statthaft sein würde zu sagen, ein Erschossener sei nicht durch die Kugel, sondern durch den Druck des Zeigefingers getödtet; denn auch das wäre noch lange nicht der letzte Grund.

Noch einen weiteren Einwurf könnte man aber machen: Es sei durchaus nicht nöthig, sich vorzustellen, die faltende Kraft habe zuerst die Hohlräume aufgewölbt und dann erst sei das Magma einge-

drungen. Man könne sich vielmehr denken, dass durch den faltenden, die Schichten aufblätternden Gebirgsdruck gleichzeitig die Hohlräume erzeugt und das Magma in dieselben eingepresst werde. Hier sei mithin die Entscheidung, wieviel auf des Einen, wieviel auf des Anderen Rechnung käme, überhaupt unmöglich.

Es scheint mir nun aber doch, dass wir ein Mittel in der Hand haben, um zu entscheiden, ob die Hohlräume, ganz allein oder vorwiegend, durch die gebirgsbildende Kraft entstanden sind oder durch den Schmelzfluss.

Wie nämlich die faltende Kraft an der Erdoberfläche nicht etwa Berge von kreisförmigem oder ovalem Umriss, sondern langgestreckte Falten erzeugt, so müssten doch auch etwaige Hohlräume, welche sie hierbei unter der Erdoberfläche durch Aufblättern der gefalteten Schichten hervorrufen würde, mehr oder weniger langgestreckt sein. Nun sind aber die Querschnitte der Lakkolithe im Allgemeinen rundlich oder oval oder unregelmässig, jedenfalls aber nicht langgestreckt. Folglich müssen also auch die von ihnen erfüllten Hohlräume eine solche Gestalt besessen haben; letztere können daher, so scheint mir, im Allgemeinen nicht direct durch die faltende Kraft der Erdrinde gebildet sein, sondern müssen direct durch die hebende, pressende Kraft, welche das Magma besass, veranlasst sein — gleichviel woher dasselbe diese Kraft erhielt —; denn ein aus einer Röhre herausquellendes oder eingepresstes Magma wird sich rings um diese aufstauen, also eine Masse rundlichen u. s. w. Querschnittes erzeugen.

Aus dem der Regel nach rundlichen bis ovalen oder unregelmässigen Querschnitte der Lakkolithe möchte ich also folgern, dass die Veranlassung zur Bildung der ihnen entsprechenden Hohlräume nothwendig im Schmelzflusse gelegen haben muss. Nur da, wo dieser Querschnitt eine einer Falte entsprechende, d. h. weithin sich erstreckende Längsaxe besässe, würde es in Frage kommen können, ob es hier die faltende Kraft gewesen sei, welche den Hohlraum geschaffen habe. Zu beachten bliebe aber selbst in solchem Falle, dass auch ein Magma, wenn es nicht aus einer Röhre, sondern etwa aus einer langgestreckten Spalte in die Schichten eingepresst würde, einen entsprechend langgestreckten Hohlraum sich würde aufwölben können.¹

¹ Es ist aber selbstverständlich, dass eine jede Intrusivmasse, wenn sie auf ihrem Wege auf präexistirende Hohlräume trifft, dieselben erfüllen wird, so dass also eine Vereinigung beider Arten intrusiver Erfüllung sehr wohl denkbar ist. Der Schmelzfluss drängt aufwärts und schafft sich einen Raum, den er erfüllt; aber gleichzeitig erfüllt er natürlich auch die Hohlräume, welche dort etwa bereits vorhanden waren,

Ist dem nun wirklich so, dann würde also, wie ich in meiner Arbeit bedingt ausgesprochen hatte, in der That selbst diese alte Vorstellung A. VON HUMBOLDT'S und L. VON BUCH'S von der blasenförmigen Auftreibung der Erdrinde nicht ein gänzlich Unerhörtes, sondern ein wirklich Vorkommendes sein, wenngleich nur durch Intrusivmassen, nicht durch Extrusivmassen erzeugt, wie jene meinten. Auch hier also wäre R. HÖRNES' Einspruch dann nicht gerechtfertigt.

Vollends gar müssten diejenigen die Entstehung von plötzlichen blasenförmigen Auftreibungen, welche dann platzen, als wirklich vorkommend vertreten, welche das vulcanische Ries bei Nördlingen nicht, wie E. FRAAS und ich thun, durch lakkolithische Hebung und dann folgende Explosion, sondern nur durch Explosion allein gebildet erklären wollten. Da es sich hier, wie die Buchbergüberschiebung z. B. beweist, um Hebung von etwa 150^m Betrag handelt¹, so müsste die Blase mindestens diese Höhe erlangt haben, bevor sie platzte und die Überschiebungen bewirkte.

II. Weitergehendes.

Für eine ganze Anzahl vulcanischer Gebiete hat sich nach Vorherigem das Folgende ergeben:

1. Zur Entstehung vulcanischer Eruptionen hat es dort keiner präexistirenden, offenen, vom Schmelzherd bis an die Oberfläche reichenden Spalten bedurft, welche dem Schmelzfluss den Ausweg erst ermöglicht hätten; vielmehr besass der Schmelzfluss dort die Fähigkeit, sich selbständig aus der Tiefe Auswege zu bahnen, indem er durch Explosion von Gasen Röhren rundlichen Querschnittes durch die Erdrinde schlug. Vielleicht ist das mit Hilfe von Haarspalten geschehen; doch ist auch das zweifelhaft, da diese wohl kaum einen so geraden, senkrechten Verlauf haben dürften, wie ihn diese Explosionsröhren besitzen.

2. Theils hat der Schmelzfluss auf solche Weise mehr vereinzelt gelegene Auswege sich geschaffen; theils hat er eine grosse Anzahl relativ nahe bei einander liegender Röhren sich ausgeblasen, so dass

sobald er in sie eindringen kann. Vielleicht erklärt sich auf solche Weise das Bild, welches BLAKE (Journal geolog. soc. London 1898. 12) von gewissen indischen Lakkolithen giebt. Unter 32 Schichtkuppen lassen sich an 10 derselben Kerne von Eruptivgesteinen erkennen, die zum Theil in einer Reihe angeordnet und in dieser Richtung in die Länge gezogen sind. Bei diesen könnte das Magma wohl in durch Gebirgsdruck präformirte Hohlräume eingedrungen sein; bei den anderen aber scheint mir das doch nicht der Fall zu sein, da sie sich nicht so verhalten.

¹ BRANCO und E. FRAAS, Das vulcanische Ries, Abhandlungen dieser Akademie 1901.

das betreffende Erdrindenstück wie mit einem Locheisen siebförmig durchlocht ist.

3. Diese Unabhängigkeit vulcanischer Ausbrüche macht sich nicht nur in kainozoischen Zeiten geltend, sie ist auch in paläozoischer Zeit schon vorhanden gewesen.

4. Die so beschaffene Unabhängigkeit des Schmelzflusses von präexistirenden Spalten hat sich im Gebiete von Urach in Württemberg bis zu einer Tiefe von etwa 800^m hinab verfolgen lassen, in Schottland aber bis zu einer Tiefe von 2600^m (8000 Fuss).

Diese vier Thatsachen stehen fest. Niemand nun wird ernstlich behaupten wollen, dass die Unabhängigkeit des Schmelzflusses von vorher dagewesenen Spalten gerade nur genau bis zu dieser 800^m bis 2600^m Teufe hinab reichen sollte; dass also unterhalb dieser Tiefen sofort präexistirende offene Spalten begönnen, auf denen das Magma aufsteige. Es ist gar kein Grund einzusehen, warum letzteres, wenn es doch nun einmal die Fähigkeit besitzt, sich durch 2600^m dicke Schichten entsprechend lange Röhren hindurchzuschlagen, nicht auch die Fähigkeit besitzen sollte, wesentlich längere Röhren sich auszublasen.

Aber wo hat das seine Grenze? Welche Länge will man hier zugestehen, bevor die Spalten beginnen müssen? Ist es logisch überhaupt nöthig, in den betreffenden Gebieten für die tieferen Schichten der Erdrinde eine Abhängigkeit des Schmelzflusses von vorher dagewesenen offenen Spalten anzunehmen, während eine solche Abhängigkeit für die oberen Schichten hier doch thatsächlich nicht vorhanden ist?

In den oben citirten beiden Arbeiten hatte ich angenommen, dass in solchen Fällen der Schmelzfluss in der Tiefe entweder auf Spalten aufdringe; oder dass aus irgend einem anderen Grunde ein Schmelzherd in relativ geringe Entfernung von der Erdoberfläche gelangt sei (S. 757 Anm. 1).

Speziell für das Gebiet von Urach wurde ich zu der Vorstellung gedrängt, dass hier in der Tiefe nicht gut offene Spalten angenommen werden könnten, dass man vielmehr einen einzigen zusammenhängenden Schmelzherd sich vorstellen müsse, von dem aus alle Röhren durch Explosion entstanden wären. Das Gebiet von Urach trägt auf einer Fläche von 20 Quadratmeilen ungefähr 130 solcher Explosionsröhren. Wie viele offene Spalten hätte man hier in der Tiefe annehmen müssen, um diese völlig regellos, nirgends in geraden Linien angeordneten Diatremata auf Spalten zurückzuführen.¹ Und welchen gewundenen oder

¹ Vulcan-Embryonen, S. 637 und die Karte. Die Zahl der Explosionsröhren ist durch spätere Funde etwas vermehrt worden.

sich vielfach durchkreuzenden Verlauf hätten die Spalten genommen haben müssen! Dieselbe Überlegung gilt von der Rhön, wo auf 9 Quadratmeilen Fläche gar 400 Durchbruchröhren erscheinen.

Wenn an irgend einer Stelle der Erde aber nur eine einzige oder nur einige wenige Explosionsröhren auftreten, so wird es, wenn man überhaupt Spalten in der Tiefe annehmen will, wohl einfacher sein, hier an eine klaffende Spalte zu denken, auf welcher der Schmelzfluss zunächst aufstieg, bis er sich dann durch den oberen Theil der Erdrinde selbständig durch Explosionen Bahn brach.

Aber für Gebiete wie die von Urach und der Rhön, mit massenhaften Explosionsröhren erscheint die Annahme eines ganzen Schmelzherdes als das natürlichere.

Die Frage, ob die Vorstellung denn statthaft sei, dass auf solche Weise ganze Schmelzherde in ein so hohes Niveau gelangt sein könnten, muss zweifellos bejaht werden.

Wenn wir doch sehen, dass in sehr zahlreichen Fällen Intrusivmassen, speciell Lakkolithe, also grosse Schmelzherde, die in der Erdrinde stecken bleiben, in hohe Niveaus gelangt sind, so müssen wir consequenter Weise das Gleiche auch für andere Schmelzherde annehmen, die in der Erdrinde nicht lediglich intrusiv bleiben, sondern mit einem grösseren oder geringeren Theile ihrer Masse an der Oberfläche aussprätzen oder ausfliessen.

Auf welche Weise diese Schmelzherde in ein so hohes Niveau gelangen, das ist für die vorliegende Betrachtung zunächst mehr nebensächlich; um so mehr, als die Frage nur durch Vermuthungen sich beantworten lässt. Ob diese Schmelzherde Überreste früherer grösserer Schmelzmassen sind; ob sie auf Spalten oder ob sie durch Aufschmelzung erst dahin gelangten; ob durch den Druck abwärts sinkender Rindentheile der Schmelzfluss in der Tiefe gezwungen wird, auszuweichen und nun unter aufwärts steigenden Rindentheilen mit in die Höhe geht, vielleicht dabei in dieselben eingeknetet wird; ob der Schmelzfluss selbst dabei mithilft, indem er sich bei der Abkühlung bei einer bestimmten Temperatur ausdehnt — das alles ist hier mehr Nebensache.

Hauptsache ist zunächst lediglich der Umstand, dass wir in Form von Lakkolithen zahlreiche intrusive Schmelzherde in hohem Niveau kennen; dass folglich auch das Dasein extrusiv werdender Schmelzherde in hohem Niveau angenommen werden darf; dass endlich ein solcher Schmelzherd, wenn ihm genügende Massen von Gasen zur Verfügung stehen, sich selbst seine Auswege zur Erdoberfläche bahnen kann. Wir sehen ja, dass er das thut. Das ist Thatsache, mit der wir zu rechnen haben.

Wir müssen uns daher mit ihr abfinden und ihre Erklärung versuchen. Gleichviel nun, ob über dem Schmelzherde grössere unterirdische Wasseransammlungen sich finden, die von ihm erhitzt werden, so dass eine »Contact«-Explosion erfolgt¹; oder ob er selbst grosse Gasmassen im absorbirten Zustande mit sich führt — in seinem Dache können sich offenbar durch Explosionen solche Kanäle bilden. Sind zufälligerweise in dem Dache Spalten oder auch nur Haarspalten vorhanden, so werden die Explosionen gewiss hier zuerst einsetzen. Aber sobald nur einmal durch die erste Explosion in der Tiefe eine Höhlung geschaffen ist, werden in diese hinein immer neue Gasmassen explodiren und sich schliesslich nach oben hin durcharbeiten — gleichviel ob sie hierbei auf Spalten treffen, die ihnen das erleichtern, oder nicht.²

Das Vorhandensein von Spalten erscheint daher in solchen Gebieten als das mehr Nebensächliche, welches zwar natürlich benutzt wird da, wo es vorhanden ist, aber fehlen kann, ohne den Vorgang damit zu verhindern. Das Vorhandensein reichlicher Mengen explodirender Gase dagegen erscheint mir für die Bildung dieser Durchbruchsröhren als das Hauptsächliche, Entscheidende.

Ist dem wirklich so, dann erklärt sich die Thatsache leicht, dass wir bisweilen solche Explosionsröhren finden, welche sich durch die unzerbrochene Erdrinde hindurch ihren Weg gebahnt haben, obgleich doch in geringer Entfernung von derselben eine Spalte verläuft, die von den explodirenden Gasen nicht benutzt worden ist.³

Wenn nun wirklich auf der Erde Gebiete vorhanden sind, in denen für das Entstehen vulcanischer Eruptionen das Vorhandensein von präexistirenden Spalten Nebensache, dasjenige grosser Gasmengen Hauptsache ist, so entsteht sogleich die Frage, ob diese Eigenschaft nur auf solche Gebiete beschränkt ist, oder ob es sich hier um eine allgemeinere Eigenschaft unseres Planeten handle.

Wenn wir diese Frage prüfen, fällt uns sofort die Thatsache auf, die ich sogleich noch eingehender berühren werde, dass die Vulcane

¹ W. BRANCO, Das vulcanische Vorries. Abhandlung dieser Akademie 1902, S. 33—36.

² Die Griesbreccien des Vorrieses. Diese Sitzungsberichte, 1903.

³ Wobei freilich noch zu beweisen wäre, dass die Spalte auch schon vor der Explosion vorhanden war. Ganz dasselbe bleibt auch von den Spalten zu beweisen, welche durch vulcanische Vorkommen gerade hindurchgehen. BÜCKING macht in seiner Arbeit über die Rhön ebenfalls (a. a. O. S. 302 ff.) darauf aufmerksam, dass ein muldenförmiges Einsinken um die Eruptionsstellen gerade erst in Folge des Substanzverlustes in der Tiefe, also nach der Eruption stattgefunden haben mag, und dass auch gewisse Spalten und Gräben in der Rhön ebenso erst nach der eruptiven Zeit entstanden sein mögen.

oft gar nicht auf den vermuthlichen Hauptbruchlinien der Erdrinde, sondern mehr oder weniger weit von denselben entfernt liegen.

Woher kommt diese Thatsache, die ebenso überraschend sein müsste für alle diejenigen, welche die Vulcane in engste Abhängigkeit von grossen, tiefen, also von Hauptbruchspalten bringen, wie sie leicht erklärlich ist für den, welcher sich daran erinnert, dass es zweifellos Gebiete auf Erden giebt, in denen die Spalten Nebensache, Gase aber die Hauptsache für das Entstehen vulcanischer Ausbrüche sind?

Bevor ich die Beantwortung dieser Thatsache versuche, will ich die folgenden beiden, theils selbstverständlichen, theils bekannten Sätze vorausschicken und kurz besprechen:

Tektonische Linien oder Gebiete müssen durchaus nicht nothwendig durch offene Spalten gekennzeichnet sein. Gesteine werden durch genügenden Druck plastisch.

Ich wende mich zunächst dem ersteren Satze zu.

Die Untersuchungen über die Faltung der Gesteine haben uns gezeigt, dass Biegungen ohne Bruch und mit Bruch entstehen können. Im ersteren Falle fehlen die Spalten selbstverständlich, im letzteren fehlen sie aber gleichfalls; denn die zahllosen kleinen Bruchflächen, auf denen hier die Verschiebung der Bruchstücke stattfindet, um die Biegung hervorzurufen, kann man nicht »Spalten« nennen.

Das nun, was hier mehr im Kleinen gilt, warum sollte das nicht auch im Grossen, von der Gesamtheit der Schichten gelten? Es kann ein Streifen der Erdrinde also recht ausgeprägte Tektonik zeigen, recht stark verbogen sein und dennoch nur von zahlreichen Haarspalten bez. von kleineren, geschlossenen Spalten, nicht aber auch nur von einer einzigen tiefen, offenen Spalte durchsetzt sein. Dann ist eine solche Scholle zwar gewiss eine tektonische Linie, ein tektonisches Gebiet, längs welcher sich Theile der Erdrinde gegenseitig verschoben haben; und wenn dann hier der Schmelzfluss sich Röhren ausbläst, auf denen er aufsteigt, so stehen diese vulcanischen Vorkommen zwar gewiss auf einem tektonischen Gebiete der Erdrinde. Aber es wäre doch sehr unrichtig, hier behaupten zu wollen, diese Vulcanausbrüche seien von Spalten abhängig, denn sie lägen ja erweislich auf einer tektonischen Zone.

Genau also wie in den einzelnen Gesteinsschichten Biegungen, Auswalgungen, Verquetschungen ganz ohne Bruch oder jedenfalls ohne offene Spalten vor sich gehen können, so kann, folgere ich, auch die Erdrinde als Ganzes solche Verbiegungen erleiden ohne offene Brüche zu bekommen.

An der Erdoberfläche, dá liegt das anders, da mag die Rinde brechen. Aber in der Tiefe, unter dem Einflusse des Gebirgsdruckes und der Plasticität, mag sie sich wohl verbiegen, aber nicht in solcher Weise aufspalten, wie man das ohne Weiteres für die Entstehung aller Vulcane annimmt.

Es ist folglich ein grosser Unterschied, ob gesagt wird, die Vulcane lägen auf Spalten, seien mithin in ihrer Entstehung abhängig von solchen Spalten, auf denen der Schmelzfluss aufquellen könne; oder ob man sagt, ihre Entstehung sei bedingt durch die Tektonik der Erdrinde. Dieser letztere Ausdruck ist viel neutraler.

Nun das Andere: Nach A. HEIM's bekannten Darlegungen und auf Grund der Experimente von SPRING, namentlich auch der neuerlichen von DAWSON ADAMS und NICHOLSON (Philosophical Transactions Royal society 1901)¹ unterliegt es wohl keinem Zweifel mehr, dass alle Gesteine, auch die Silicate, in der Tiefe wirklich plastisch werden.

Wie sollen nun bei solcher plastischen Beschaffenheit der Gesteine in grösserer Tiefe Spalten offen bleiben können, auf denen der Schmelzfluss in der Weise aufsteigen könnte, wie die herrschende Lehre das annimmt?

Dazu kommt, dass auch der in der Erdrinde herrschende Gebirgsdruck, der doch so stark ist, dass er die Rinde in Falten zusammendrückt, nothwendig ebenfalls das Seinige dazu beitragen muss, etwa entstandene Spalten in der Tiefe sogleich wieder fest zusammenzupressen.

Wesentlich nur unter besonderen, später zu besprechenden Verhältnissen (Zerrung anstatt des Druckes) wird somit auch in der Tiefe die Möglichkeit gegeben sein, dass Spalten offen bleiben können. Anders liegen die Dinge in den obersten Schichten der Erdrinde. Hier herrschen weder jener plastische Zustand der Gesteine, noch der heftige Gebirgsdruck; hier werden sich daher leicht offene Spalten bilden können, die dann in uns die Vorstellung erwecken, dass in grösserer Tiefe gleiche Verhältnisse obwalten müssten.

Es folgt mithin, dass für die Tiefen der Erdrinde einerseits die Annahme offener Spalten, andererseits die An-

¹ Die Verfasser haben Marmor durch Druck schon bei gewöhnlicher Temperatur plastisch gemacht, so dass er dauernd die ihm gegebene Formveränderung beibehält. Bei gleichzeitiger Anwendung einer erhöhten Temperatur von 300°—400° C. gelang es, dieses Fliessen des Kalkes und seine Formveränderung nur durch Bewegungsvorgänge innerhalb der Krystalle hervorzurufen, wogegen bei gewöhnlicher Temperatur auch Bruch mitwirkte. Die mit Granit und anderen Silicatgesteinen begonnenen Versuche liessen ein gleiches Ergebniss erwarten.

nahme starken Gebirgsdruckes im Vereine mit der Thatsache der Plasticität der Gesteine zwei sich widersprechende Dinge sind, die sich sogar gegenseitig ausschliessen.

Bei solcher Auffassung erklären sich gewisse Verhältnisse, die sonst nicht erklärlich sind, solange man sich auf den Boden der Lehre stellt, dass der Schmelzfluss in der Tiefe nothwendig nur da aufzusteigen vermag, wo die gebirgsbildende Kraft ihm Spalten öffnet: Gerade eben weil die Spalten in grösserer Tiefe nicht klaffen, sondern (ausser bei Zerrung) geschlossen sind, daher werden die beiden sonst ja gar nicht erklärlichen Thatsachen wohl sich erklären, dass die Vulcane in tektonischen Gebieten oft gerade nicht da stehen, wo, wie man meint, die Hauptspalten verlaufen, sondern an ganz anderen Orten; und dass ihre Producte gerade nicht in linienförmig langen, continuirlichen Massen oder gerade nicht in dichtgedrängter Reihenfolge aufzutreten pflegen, sondern in Form vereinzelter, im Allgemeinen recht weit von einander entfernter Punkte.

Warum denn, wenn die 150^{km} weit von einander entfernten Inseln Martinique und St. Vincent, wie man behauptet, auf einer solchen Spalte liegen, warum denn ist nicht auch gleichzeitig mit ihnen die zwischen ihnen liegende vulcanische Insel Santa Lucia activ geworden? Warum denn haben sich überhaupt nicht gleichzeitig mit jenen noch zahlreiche andere vulcanische Inseln auf dieser 150^{km} langen Spalte gebildet?

Wenn man irgendwo zwei eng benachbarte Kratere als durch eine gemeinsame Spalte verbunden sich denken möchte, so müssten es doch vor Allem der Kilauea und Mauno Loa sein. Wäre dem aber in der That so, dann müssten sie, wie schon DANA und jetzt A. STÜBEL sagen, stets gleichzeitige Eruptionen haben¹; und es müsste das Becken des mehrere 1000^m niedriger gelegenen Kilauea sofort überfließen, wenn in dem so viel höher gelegenen Mauno Loa die Lavasäule aufsteigt. Das ist jedoch nicht der Fall, und darum muss man folgern, dass beide Kratere nicht durch eine Spalte verbunden sind, sondern dass jeder seine eigene, isolirt in die Tiefe hinabsetzende Ausbruchsröhre besitzt, ganz wie bei Martinique und St. Vincent.

Wir kennen ja Lavamassen, die in langen, offenen Spalten aufgestiegen sind. Wenn nun dasselbe von allen Vulcanen gälte, warum finden dann ihre Aschenauswürfe und Lavaergüsse nicht gleichfalls in langgedehnten Linien statt, wie mit Recht auch GERLAND fragt?²

¹ A. STÜBEL, Über die genetische Verschiedenheit vulcanischer Berge. Leipzig 1903, bei Max Weg.

² Der Ausbruch der Montagne Pelée. Deutsche Rundschau, Heft 12, 1902, S. 435.

Warum finden sich in dem grössten Grabenbruche der Erde, dem africanischen, nicht lange Linien von Eruptivmassen? Und der Rheinthalgraben weist gar nur an einer einzigen Stelle einen vulcanischen Ausbruch auf. Sollen die Spalten, welche diesen Graben bilden, wirklich gerade nur an dieser einen einzigen punktförmigen Stelle sich bis auf den Schmelzherd hinab geöffnet haben? Obgleich doch überdies die Hauptspalten des Rheinthalgrabens vermuthlich weniger durch dieses vulcanische Kaiserstuhlgebirge als vielmehr weiter östlich und westlich, an der Grenze zwischen der Rheinthal ebene und dem Schwarzwald und den Vogesen verlaufen.

Warum sind ferner die americanischen Vulcane zum Theil so weit, bis zu 200^{km}, vom Meere, d. h. von den Hauptspalten, entfernt? Denn letztere, an denen das Becken des Stillen Oceans hinabgesunken ist, verlaufen doch offenbar an der ungefähren Grenze zwischen diesem Meere und dem Continente bez. den Anden.

Warum also liegen die Vulcane, z. B. in America, zum Theil gerade nicht dort, wo die Hauptspalten sind bez. wo man sie vermuthen muss, sondern gerade an anderen Stellen, wo das nicht der Fall ist? Diese Frage drängt sich mit solcher unabwiesbaren Gewalt in den Vordergrund, dass selbst BERGEAT, obgleich er sich gegen meine Ansichten wendet, dennoch gleichzeitig sich gezwungen sieht, anzuerkennen:¹ »Die Vulcane bauten sich nicht nothwendigerweise über den hauptsächlichsten tektonischen Bruchlinien, sondern vielmehr über den Zerrüttungszonen auf, welche diese begleiten und weit in's Land hineinreichen«.

Was hat man nun hier unter der »Zerrüttungszone« zu verstehen, wenn man in ihr, wie aus BERGEAT's Erklärung doch unzweideutig hervorgeht, keine Hauptspalten, keine hauptsächlichsten tektonischen Bruchlinien findet? Zerrüttungszone kann dann — so scheint mir — nur ein Gebiet sein, in dem der Gegensatz von »Haupt«-Bruchlinien, das heisst kleinere Spalten oder nur Haarspalten oder mehr oder weniger bruchlose Verbiegungen, sich finden.

Man sage nicht: »Solche kleineren Spalten können doch auch sehr tief sein«. Möglich mag das sein; im Allgemeinen aber wird wohl die Wahrscheinlichkeit, dass die Haupt-Bruchspalten die tieferen sind, grösser sein als das Gegentheil. Wenn nun aber in America nicht einmal diese Haupt-Bruchspalten im Stande sind, den Schmelzfluss zum Aufsteigen zu veranlassen, dann werden doch die kleineren Spalten das noch viel weniger thun können. Wir kämen somit auch hier als wahrscheinlich zu dem vorher

¹ Äolische Inseln S. 258, 259 und Centralblatt f. Min., Geol., Pal. 1902, S. 727.

gewonnenen Ergebnisse, dass die Spalten nur eine nebensächliche Rolle spielen, weil die Gase eine Selbstbefreiung des Schmelzflusses ganz unabhängig von Spalten dann zu bewirken vermögen, wenn keine Spalten vorhanden sind.

Wo also starker Gebirgsdruck herrscht, wie in Kettengebirgen, da ist, wie wir sahen, die Wahrscheinlichkeit, dass die Spalten geschlossen sind, grösser, als die, dass sie klaffen.

Wenn wir dagegen uns nun Gebiete vorstellen, in denen das Gegentheil von Gebirgsdruck, also Zerrung, herrschte, so würden wir dort die Vorstellung von offenen Spalten gewinnen können, in denen der Schmelzfluss ohne Weiteres aufzusteigen vermöchte.

Beide Gegensätze scheint die mit so gewaltigem Vulcankranze besetzte Umrandung des Stillen Oceans darzubieten:

An seinem Ostrande liegen die Vulcane auf dem americanischen Festlande, und zwar wesentlich auf einem Kettengebirge. Hier herrscht Pressung, daher dürften die Spalten, wie oben dargelegt, mindestens vorwiegend, geschlossen sein; und A. STÜBEL, BÖSE, BODENBENDER behaupten ja bekanntlich die Unabhängigkeit von Spalten für dortige Vulcane.

An dem Westrande des Pacificischen Oceans liegen die Vulcane dagegen auf Inseln. Zum Theil sind diese Inseln rein vulcanischer Natur, stellen also nichts anderes dar, als Vulcanberge, die auf dem Boden des Meeres sich aufbauen. Zum anderen Theile aber sind diese Vulcan-tragenden Inseln stehengebliebene Reste ehemaligen asiatischen Festlandes, welches zu Bruche ging.

Westlich von dieser Inselreihe liegen die relativ flacheren asiatischen Binnenmeere, deren Boden offenbar ebenfalls aus Theilen des ehemaligen Festlandes besteht, welche jedoch bereits abgesunken sind. Östlich der Inselreihe beginnt das Becken des Stillen Oceans, welches sogleich zu so gewaltiger Tiefe abbricht, dass sich hier, nahe den Inseln, die tiefsten Stellen des Pacific überhaupt finden.

Nach der Darlegung, welche F. VON RICHTHOFEN über die eigenartigen Gebirgsbögen gegeben hat, die das östliche Asien kennzeichnen und auch auf den grösseren der genannten Inseln sich wiederfinden¹, sind diese Bögen entstanden dadurch, dass alte, ungefähr W.-O. streichende Faltengebirge, jäh abgeschnitten und durchkreuzt wurden durch spätere, ungefähr N.-S. streichende Bruchlinien. Längs letzterer brachen die östlichen Randgebiete des asiatischen Festlandes zusammen und sanken zum Theil in die Tiefe. Die Ursache dieses Vorganges

¹ F. VON RICHTHOFEN, Geomorphologische Studien, Th. I, II, III. Sitzungsber. dieser Akademie 1900, 1901, 1902.

aber lag darin, dass das Becken des Stillen Oceans wich, immer tiefer absank. Damit wurde dem Festlande hier, an seinem Ostrande, das Widerlager entzogen; das Festland drängte in Folge dessen gen Osten und brach in ungefähr N.-S. ziehenden Bruchlinien ab.

Ein jedem Geologen geläufiger Vorgang dürfte vielleicht ein Bild dessen geben, was von RICHTHOFEN hier im Sinne hat: Wenn an einem steilen Berggehänge, dem ja auch das Widerlager fehlt, ein Absitzen der Massen stattfindet, so reissen parallel mit dem Gehänge Spalten auf, die immer weiter nach oben hin, landeinwärts sich bilden und immer weiter klaffen, je mehr das Absitzen der Massen stattfindet.

Damit ergibt sich nun, wie mir scheint, bezüglich der Spalten hier ein völlig entgegengesetztes Bild als das vorher für die Ostküste gewonnene. Dort entstanden die Spalten durch Zusammenpressung, die ja so stark ist, dass die Gesteinsschichten gefaltet bis fächerförmig an einander gepresst werden. Hier entstanden sie durch den gegentheiligen Vorgang, durch Auseinanderzerrung. Während daher dort fest geschlossene Spalten sich ergeben, entstehen hier offene und immer wieder von Neuem geöffnete Spalten. Ebenso widerspruchsvoll wie dort die Lehre von einer Befreiung des Schmelzflusses durch offene Spalten erscheint, da diese doch geschlossen sein müssen, ebenso leicht begreiflich wird sie hier.

Und doch, selbst in Kettengebirgen, oder ganz allgemein gesprochen, selbst da, wo Pressung herrscht, würde wenigstens die Möglichkeit vorliegen, dass wir zur Annahme offener Spalten in der Tiefe gelangen könnten.

Es scheint, dass die Faltung mehr oder weniger nur die oberen Theile der Erdrinde betrifft; und wir wissen, dass bei Faltungsvorgängen oft grosse Schollen weit über die vorliegenden Theile der Erdrinde hinweg geschoben werden.

Wenn nun in einem Gebiete nur die oberen Schichten der Erdrinde Faltung und Pressung, die tieferen dagegen Zerrung erführen, dann könnten wohl in der Tiefe Spalten geöffnet sein, während sie oben geschlossen wären. Dann könnte also selbst in Gebieten der Pressung doch in der Tiefe der Schmelzfluss auf Spalten aufsteigen, also von Spalten abhängig sein, während er in den höheren Schichten sich durch Explosionen seinen Ausweg bahnte, also von Spalten unabhängig wäre.

Trotzdem aber würde für alle diese Gebiete mit Zerrung der schwerwiegende Einwand zu Recht bestehen bleiben, dass in der

Tiefe, überall wo genügender Druck herrscht, die Gesteine plastisch werden müssen, die Spalten also nur dann klaffend bleiben können, wenn sofort Schmelzfluss in ihnen aufsteigt und sie erfüllt.

Ebenso aber dürfen wir uns nicht verhehlen, dass die Annahme so gewaltig grosser Gebiete mit Zerrung der Ansicht nicht günstig sein könnte, dass in der Erdrinde überall starker Gebirgsdruck stattfindet.

Ausgegeben am 23. Juli.
