

Der Mechanismus tiefvulkanischer Vorgänge

Von

Hans Cloos

Dr. phil., o. Professor der Geologie und Paläontologie an der
Universität und an der Technischen Hochschule zu Breslau

Mit 24 Zeichnungen und einer Karte

Aug 21 1921 XIX/12 6437/18



Druck und Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig

1921

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung	1
Die geologische Stellung der vulkanischen Tiefen- bildungen	2
Verbindung mit Vulkanen	2
Beziehung zur nichtvulkanischen Gebirgsbildung	6
I. Tektonik des Granits	5
1. Die tektonischen Elemente des Granits	9
Allgemeines. — Beobachtungen bei Strehlen in Schlesien. — Richtung des Druckes. — Streckung und Teilbarkeit. — Teilbarkeit und Druck. — Klüfte, Gänge und Druck. — Der Bauquader des Granits. — Belastung. — Lager- fläche. — Wirkungen des Druckes vor der Erstarrung. — Ergebnisse.	
2. Die Entstehung des Riesengebirges	17
Landschaftsformen. — Kluffnetz. — Gänge. — Die Druck- richtung. — Diagonalfächen. — Ihre Beziehung zur Druck- richtung. — Der Zugquadrant.	
3. Analogien zur Technik	24
Druckprüfungen. — Mohrsche Linien, Fließfiguren. — Unsymmetrische Verteilung derselben. — Größe des Winkels. — Unterschiede gegen die Natur.	
4. Analogien zur Gebirgsbildung	29
Brüche und Falten	29
Räumliche und zeitliche Beziehungen zwischen beiden. — Querdehnung durch Quer- und Diagonalbrüche. — Mohrsche Linien. — Streckung der Falten.	
Druck und Last	34
Vertauschbarkeit beider Kräfte unter bestimmten Bedin- gungen. — Die Entstehung der Schollengebirge. — Lage der Rutschstreifen.	
II. Der Aufstieg des Magmas	40
1. Intrusion und Faltung	41
Teilbewegungen im Faltengebirge. — Hereinziehung von Magma. — Sattelstöcke. — Das Gneisproblem. — Schieferung und Teilbarkeit bei Gneisen und Graniten.	

	Seite
2. Eine neue Intrusionsform	44
Die Grenze von Ost- und Westschlesien. — Umbiegung des Faltengebirges. — Eindringen von Magma in die Beugung. — Mechanismus. — Tektonisches Seitenstück (der Neißegraben).	
Intrusion und Überfaltung	48
Beobachtungen von Kossmat im Erzgebirge. — Beob- achtungen in Schlesien. — Die Gneisgranitkuppel. — Be- deutung der chemischen Analyse für die Wurzelfrage.	
Der Stillstand der Faltung	49
3. Intrusion im Anschluß an Bruchbildung	49
Historisches	50
Die Tatsache des Platztausches. — Ihre Lösung durch Einschmelzung, durch Aufstimmung. — Bedeutung von Schollen.	
Beziehung zum Seitendruck	52
Zerspaltung des Nebengesteins. — Gänge, Kontakte, Schollen. — Ihre tektonische Stellung. — Quermassive und Längsmassive. — Die Öffnung der Spalten.	
Querdehnung	56
Ihre Bedeutung für die Raumbildung. — Das Massiv von Striegau-Zobten. — Dicke und Höhe der Kruste als An- zeichen für Materialzufuhr.	
Hochdehnung	59
Rückblick über den Aufstieg des Magmas	62
Der Harz als Beispiel	63
Hauptleitlinien, Hauptdruckrichtung. — Messungen im Granit. — Herzynische und rheinische Richtung im Granit. — Seitenbewegungen.	
4. Vulkane und Spalten	66
Das Problem der obersten Wegstrecke des Magmas. — Abhängigkeit der Durchbrüche von Spalten. — Abhängig- keit der Spalten vom gebirgsbildenden Druck. — Die Lage der tertiären Vulkane Mitteldeutschlands. — Ihre Beziehung zu den Verhältnissen im Harz. — Tektonisches. — Die drei Richtungen in Mitteldeutschland.	
Schluß	72
Bedeutung des Tiefenvulkanismus für die Gebirgsbildung, das Problem der kristallinen Schiefer, für das Antlitz der Erde.	
Bemerkungen	78

Einleitung.

Die Gebilde der vulkanischen Tiefen (Granitmassive und Verwandtes) haben bisher in der geologischen Forschung nicht den Raum eingenommen, der ihrer Verbreitung an der heutigen Erdoberfläche zukommt. Wesentlich auf die Dynamik fester Gesteine gerichtet, mußte die geologische Methode am Rande dieser Massive haltmachen und ihren schmelzflüssigen und aus Schmelzfluß erstarrenden Inhalt der chemischen Analyse und dem Mikroskop überlassen. In diesem Punkte ist durch neue, in der ersten Hälfte dieses Buches mitgeteilte Beobachtungen ein Fortschritt erzielt und die Erforschung der vulkanischen Tiefen auf eine andere und breitere Grundlage gestellt worden. Die Hoffnung, auf diesem tektonischen Wege das Verständnis der Tiefengesteinsmassive fördern zu können, läßt mich gern die Gelegenheit zu einer zusammenfassenden Darstellung ergreifen¹).

Mit bekannteren Erscheinungen sind die vulkanischen Tiefenbildungen an zwei Stellen verknüpft. Sie stehen in enger Beziehung zu Vulkanen, deren Unterbau, vielleicht deren Herde sie bilden; das rechtfertigt ihre Besprechung vor einem weiteren Leserkreise. Ferner verbindet sie und den ganzen Vulkanismus ein intimes Wechselverhältnis mit den anderen größeren Bewegungen der Erdkruste, der Gebirgsbildung, und mit dem tektonischen Druck. Man hat die Frage: Wozu braucht die Erde Vulkane? wohl damit beantwortet, daß sie als Sicherheitsventile für die Oberfläche das gespannte Innere zu entlasten hätten. Sie sind mehr. Wir werden sie im folgenden als Manometer kennen lernen, die den Druck, indem sie ihn weiterleiten, zugleich messen, ja sogar aufzeichnen.

Gerade in der Tiefe, mit der wir uns zu beschäftigen haben, ist diese Aufzeichnung eine besonders inhaltreiche, da sie gewissermaßen in zwei Sprachen erfolgt. Denn während noch der Druck unverändert weiter wirkt, ändert sich der Stoff, der ihn aufnimmt und registriert, indem die Schmelzmasse erstarrt und aus dem hochempfindlichen Zustand einer Flüssigkeit in den spröden, hart und ganz andersartig ansprechenden Zustand eines der festesten Gesteine übergeht. Diese zweisprachige Aufzeichnung eines und desselben geologischen Vorganges wird den Ausgangs- und Angelpunkt unserer Untersuchungen abgeben²⁾.

Geologische Stellung der vulkanischen Tiefenbildungen.

Verbindung mit Vulkanen.

An die Wurzeln tätiger Vulkane können wir an keiner Stelle der Erde herantreten. Dagegen ist uns die Tiefenfortsetzung erloschener Feuerberge überall zugänglich, wo sie nachträglich aus Dach und Hülle herausgeschält wurde. Hat man doch aus seinen einzelnen Stockwerken das vollständige vulkanische Bauwerk rekonstruiert und eine „Abtragungsreihe“ (Denudationsreihe) der Vulkane zusammengestellt³⁾.

An der Oberfläche, wo sich Stoffe und Kräfte allseits frei entfalten können, bauen die Vulkane ihren Stoffüberschuß über einem kreisförmigen Grundriß auf (Kegel, Kuppen, Dome, Schilde, Wallberge usw.). Die gleiche Grundform reicht auch in die Erdkruste noch so tief hinab, wie sich die vulkanische Kraft unbehindert zu entfalten vermag: sie beherrscht den Krater und unter ihm den Zufuhrkanal, so daß deren erstarrte Lavafüllungen als wohlgeformte Kegel aus der losen Umgebung herauswittern können (Siebengebirge, Katzenbuckel, Landeskrone, niederschlesische Basaltkegel, Hegauvulkane usw.).

Aber nirgends hat sich der Schlot bis zum Herde selbst durchverfolgen lassen. Vielmehr stößt man schon vorher auf andere Gebilde, an denen nur noch der Inhalt vulkanisch ist: Die Röhre wird schmaler und verlängert sich rasch zu einem plattenförmigen Gebilde, dem Gang. Erst solche Gänge leiten

ihrerseits zu den eigentlichen Herden des Vulkanismus hinab. Der Übergang vom Gang zum Schlot (zurzeit besonders glücklich aufgeschlossen in den südafrikanischen Diamantgruben) bedeutet also im Werdegang des Vulkans einen Wendepunkt: Gänge sind ausgefüllte Spalten der Erdkruste, die fast ausnahmslos nicht durch vulkanische Kräfte geschaffen wurden. Sind sie, wie hier, mit vulkanischen Stoffen ausgefüllt, so hat sie der Vulkanismus benutzt, aber nicht geschaffen. Oft wechselt jedoch an der gleichen Stelle auch die Füllung. Während Krater und Schlot mit Trümmern der vulkanischen Explosion angefüllt sind, die sie aussprengte, steckt in dem Gang festes Gestein, das aus der ruhigen Erstarrung flüssiger Schmelzen hervorging. Am Übergang vom Gang zum Schlot liegt also oft der Sprengpunkt des Vulkans: Der Vulkan gleicht einer Mine, deren Ladung durch vorbereitete Gänge bis in eine Sprengkammer passiv vorgeschoben und dort zu aktivem Ausbruch gebracht wird.

Auch das Problem der vulkanischen Kraft erfährt also an diesem Wendepunkt eine Scheidung: Oberhalb des Sprengpunktes sind es Explosionserscheinungen (der Vulkanismus im engeren Sinne), die einer Erklärung bedürfen. Unterhalb dagegen erheben sich zwei ganz verschiedenartige Fragen: Erstens, woher stammt die Lava, welche diese Spannkraft erzeugt oder mitbringt, und zweitens, wodurch entstand die Spalte, die ihr den Weg öffnete? Nimmt man das Vorhandensein von Lava in der Tiefe als gegeben an, so wird also der Schwerpunkt des Problems vom Vulkanismus weg auf ein ihm fremdes Gebiet verschoben. Dies Gebiet, auf welchem Spalten gebildet, geöffnet und dem Vulkanismus zur Verfügung gestellt werden, ist die Gebirgsbildung.

Wir wollen diesen Grenzpunkt zwischen Gebirgsbildung und Vulkanismus als den oberen Wendepunkt der (aus Vulkanismus und Tektonik) gemischten Gebirgsbildung bezeichnen. Die einfache Überlegung, daß in einer gewissen, sehr viel größeren Tiefe alle Gesteine schmelzen und hierdurch ebenfalls der Gebirgsbildung entzogen werden müssen, lehrt, daß es auch einen unteren Wendepunkt geben muß. Zwischen beiden, d. h. im Wirkungsbereich der gemischten Gebirgs-

bildung bewegen sich unsere, auf die Anwendung geologischer Methoden gerichteten Untersuchungen.

Wir kehren zurück zur Abtragungsreihe: Die Spalte mündet nach einem längeren oder kürzeren Wege schließlich in jene großen, oft riesenhaften, nach drei Dimensionen ausgedehnten und mit vulkanischen Stoffen erfüllten Räume, die wir Massive nennen, und denen wir vorerst die Eigenschaft vulkanischer Herde zusprechen wollen.

An dieser Stelle enden jedoch keineswegs die Probleme, sondern sie beginnen erst recht eigentlich. Denn erstens zeigen weitaus die meisten dieser „Herdmassive“ Merkmale eines noch tieferen Ursprungs und einer Aufwärtsbewegung. Sie sind nicht von Anfang an an Ort und Stelle vorhanden oder gebildet, sondern von unten zugewandert. Hierdurch erhebt sich aber, angesichts der gewaltigen Massen in ganz anders dringlicher Weise als bei den Gängen und Schloten die Raumfrage: Wie konnten diese neuen Massen innerhalb der schon vorhandenen Kruste Raum gewinnen?

Zweitens: Die zusammengestellte Abtragungsreihe stimmt wohl für die Formen, nicht aber für den Inhalt der Vulkangebilde. Denn während die überwiegende Mehrzahl aller Oberflächenvulkane aus basischen Laven aufgebaut wird (Basalt und Verwandte), herrscht in den Tiefenmassiven der saure Granit. Die Abtragungsreihe leistet also nicht alles, was von ihr verlangt wird: Weder deckt sie die Wurzeln der heutigen Vulkane auf, noch liefert sie umgekehrt die Gipfelbildungen der Granitmassive. Hier klafft eine fühlbare Lücke, die wir als das geologische Stoffproblem des Vulkanismus bezeichnen und an späterer Stelle noch einmal kurz aufgreifen wollen.

Dagegen werden wir die Raumfrage alsbald angreifen: Tiefvulkanische Massen (wesentlich Granite) füllen riesenhafte Räume in der Erdkruste. Wie wurden für sie diese Räume freigemacht, wo blieben die früheren Gesteinsmassen der Erdkruste, wie gerieten die neuen an deren Stelle?

Es liegt auf der Hand, daß in das Raumproblem alle anderen mechanischen Probleme der „gemischten“ Zone einmünden. Es bildet zugleich die höchste Steigerung und den

Prüfstein. Eine Theorie, die diese schwierigste Aufgabe der Raumbildung dreidimensionaler Massive löst, schließt die Lösung der anderen, kleineren Probleme, wie der Spaltenfrage, der Frage der kleinen Massive (Stöcke und Lakkolithen) ja auch die Frage des Verhältnisses von Vulkanismus und Gebirgsbildung in sich. Wir wollen uns daher zunächst dem Raumproblem selbst zuwenden.

Das Problem ist in den letzten Jahrzehnten von den verschiedensten Seiten beleuchtet worden⁴⁾, so daß wir uns kurz fassen können. Eine ältere, primitive Stufe der Deutung glaubt alle diese Massive gewissermaßen als „unterirdische Vulkane“ erklären zu können: Wie der oberirdische Vulkan an der beweglichen Atmosphäre keinen merklichen Widerstand findet, wenn es sich darum handelt, neue Stoffe auszubreiten, so sollte auch unter der Erdhaut Platz geschaffen werden, indem diese aufgebläht und der blasenförmige Hohlraum angefüllt würde. Es gibt solche „Lakkolithen“, die nach oben vorgetrieben und mit dem Erdinnern nur durch einen engen Zufuhrkanal verbunden sind, aber die großen, tiefen Massive gehören nicht dazu. Ihnen suchten zuerst französische Forscher mit der Hypothese beizukommen, heiße Gase oder Schmelzen (oder beides) aus der Tiefe hätten die Kruste, in die sie emporstiegen, eingeschmolzen und damit zugleich den Raum und einen Teil des Stoffes für das Massiv geschaffen. Dieser Aufschmelzungstheorie steht für sehr zahlreiche Massive die einheitliche, vom Nebengestein unabhängige Zusammensetzung der Füllmasse im Wege: Man erhält, wenn man ein Stück Erdkruste einschmilzt, nicht ohne weiteres Granit. Auch läßt die Grenzfläche, der sogenannte Kontakt, oft die zu erwartenden Schmelzwirkungen vermissen; an ihrer Stelle trifft man vielmehr wesentlich mechanische Durchdringungen: Der Granit dringt in Spalten des Nebengesteins und löst aus ihnen Bruchstücke („Schollen“), die dann in den Granit übertreten. Unter dem Druck solcher Beobachtungen hat man sich entschließen müssen, die Werkstatt der Einschmelzung in größere Tiefe zu verlegen und anzunehmen, daß an der Front des Massivs der Stoffaustausch wesentlich ein mechanischer sei. Die einzelnen Schollen, die man im Granit findet, sollen nur

kärgliche Zeugen einer gewaltigen Abwanderung solcher Gebilde ins Innere der Schmelzmassen sein. Diese „Platztauschhypothese“ hat am nachdrücklichsten Daly vertreten, der weiterhin annahm, daß die einbrechenden Bruchstücke in der Tiefe eingeschmolzen sind und dort auch zur chemischen Umgestaltung des Magmas verwandt wurden. Hier tritt also von neuem die Stofffrage mit herein. Die Kraft, die die Schollen zur Tiefe führt, sollte die Schwere sein.

Aber es stellen sich auch der Durchführung der Platztauschhypothese drei gewichtige Tatsachen entgegen: Erstens sind die Schollen nur wenig schwerer als der Granit, zweitens ist der Granit im Verhältnis zu diesem geringen Gewichtsunterschied vielleicht zu zäh, um einen flotten Austausch zuzulassen und drittens ist die Zahl der wirklich beobachteten Schollen eigentlich zu gering. Von verschiedenen Seiten ist gelegentlich auf diese Schwierigkeiten hingewiesen worden, ohne daß eine bessere Erklärung zu geben war. Endlich: Wenn wirklich die Massivbildung lediglich das Werk eines aktiven Magmenauftriebes wäre, so ist nicht einzusehen, warum nicht zu allen Zeiten der Erdgeschichte und heute noch an geeigneter Stelle der Erdkruste das Magma aufsteigt!

Beziehung zur nichtvulkanischen Gebirgsbildung.

An dieser Stelle möchte ich nun einsetzen mit dem Versuche, planmäßig in die Untersuchung geologische Methoden einzuführen. Die Möglichkeit dazu ist gegeben, wenn sich nicht bloß nachweisen läßt, daß der vulkanische Stoff denselben Kräften gehorcht, die der Geologe in der Bildung nichtvulkanischer Gebirge voraussetzt und zu kennen glaubt, sondern wenn sich auch die Richtung und die Wirkungsweise dieser Kräfte auf vulkanische Stoffe und Vorgänge verfolgen und mit ihrer Wirkung auf nichtvulkanische in Parallele setzen läßt.

Dieser Versuch soll im ersten Hauptteil (S. 9 bis 39) dieses Buches gemacht werden. Vorher noch ein paar Worte über den allgemeinen Zusammenhang zwischen vulkanischen und nichtvulkanischen oder tektonischen Vorgängen in der Erdkruste.

Es ist eine lange bekannte Tatsache, daß sozusagen sämtliche Tiefenmassive, wie ja auch alle Vulkangebiete der Erde in gestörter Umgebung liegen, d. h. daß irgend eine ursächliche Beziehung besteht zwischen dem Vulkanismus und der Gebirgsbildung. Welcher Art diese Beziehung sei, ist bekanntlich Gegenstand eines Meinungsstreites, der seit 100 Jahren wesentlich nur seine sprachliche Einkleidung gewandelt hat. Die Vorstellung Leop. v. Buchs, daß die Alpenketten emporgetrieben seien durch den aktiven Vulkanismus ihrer kristallinen Zentralzone, ist später glatt abgelehnt und ersetzt worden durch eine Theorie, die im Rahmen der Gebirgsfaltung dem Vulkanismus eine rein passive Rolle zuschreibt. Aber jener Gedanke ist für die Blasenvulkane (Lakkolithen) Nordamerikas neu in seine Rechte gesetzt und von da wieder nach Europa zurückgeholt und vielfach gebraucht und mißbraucht worden. Den wärmsten Verfechter fand die Theorie eines aktiven Vulkanismus in Branca, der in den 125 Durchbruchsröhren Schwabens die aktive Natur der obersten Zone erkannte. Auch in die alpinen Faltengebirge hat die Buchsche Auffassung ihren Rückweg gefunden, am ähnlichsten in einer bis jetzt unbewiesenen Hypothese Lachmanns, die die Alpenfaltung einer Volumvergrößerung durch magmatische Umkristallisation zuschreibt, demnächst aber auch in der sehr anregenden Theorie der „Unterströmungen“, die den Antrieb für die an sich tektonische Faltung in Magmaströmungen des letzten Untergrundes hinabverlegt. Die entgegengesetzte Auffassung, daß die Gebirgsbildung Ursache, der Vulkanismus Wirkung sei, hat im Laufe der Zeit sehr verschiedene Ausdrucksformen angenommen. Am gebräuchlichsten ist die Vorstellung, gebirgsbildende Vorgänge, wie Faltung und Zerbrechung hätte die Erdkruste so weit gelockert, daß an solchen vorbereiteten Stellen alsdann die vulkanische Energie aktiv ihren Weg gefunden hätte; für Tiefenmassive ist dieser Gedanke, der keine Gleichzeitigkeit von Gebirgsbildung und Vulkanismus in sich schließt, von Milch weiter ausgearbeitet worden, während er für Oberflächenausbrüche so naheliegend und populär ist, daß man kaum bestimmte Autoren nennen kann. Sehr scharf hat Grube⁵⁾ dargelegt, wie in Norddeutschland zuerst die Kruste

zerbrochen wurde und erst in einer noch späteren Zeit an den Bruchstellen Laven ihren Weg empor suchten. Wenig später gelangt dann der gleiche Verfasser⁶⁾ angesichts der Tatsache, daß vorwiegend nur die nördlich gerichteten Brüche Verwendung finden, während die nordwestlichen leer bleiben, zu der Annahme, daß neue gleichzeitige Bewegungen auf den alten Nordbrüchen dem Vulkanismus zu Hilfe gekommen seien.

Wir werden im folgenden fast ausschließlich solche vulkanische Vorgänge kennen lernen, die gleichzeitig mit den Faltungen und Zerspaltungen ablaufen, denen sie ihren Weg durch die Kruste verdanken. Nicht immer, ja nicht einmal oft fällt hierbei gerade der Höhepunkt der Bewegung mit dem vulkanischen Akt zusammen, meist fällt dieser vielmehr in die Zeit des Abklingens oder eines schwachen Wiedererwachens. Immer aber läßt sich nachweisen, daß die mechanische Ursache der Gebirgsbildung auch auf den vulkanischen Vorgang unmittelbar gewirkt hat⁷⁾.

„Der Granit war in den ältesten Zeiten schon eine merkwürdige Steinart und ist es zu der unsrigen noch mehr geworden.“
Goethe, 1784.

I. Tektonik des Granits.

1. Die tektonischen Elemente des Granits.

(Hierzu die Karte S. 16/17.)

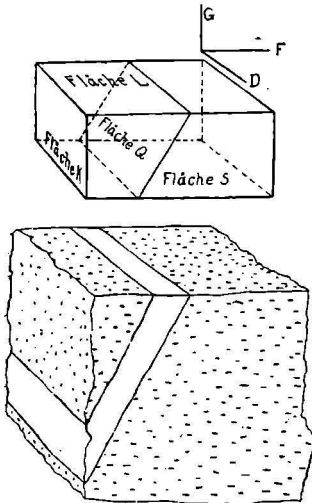
Beim Betreten irgend eines großen Granitsteinbruches macht man sofort drei wichtige Beobachtungen. Der Granit bildet nicht eine zusammenhängende Gesteinsmasse, sondern wird durch Fugen oder Klüfte in natürliche Quader zerlegt; diese Klüfte sind in wenigen, bestimmten Richtungen angeordnet; und drittens: die Arbeiter gewinnen den Granit, indem sie ihn teils an seinen natürlichen Klüften ablösen, teils aber neue künstliche herstellen, die jenen parallel verlaufen; dies wird ermöglicht durch eine Teilbarkeit des Granits, die also ebenfalls gerichtet ist.

Die Klüfte, die in ihrer geordneten Lage auch die Felsgruppen, Felsenmeere und großen Landschaftsformen der Granitgebiete bedingen und für die Anordnung von Gängen und Kontakten die Richtung geben, hielt man teils für Folgen der Zusammenziehung, die der Granit beim Erkalten durchgemacht hat, teils für Wirkungen eines zu irgend einer späteren Zeit auf den erkalteten Granit ausgeübten Druckes. Mit der natürlichen Teilbarkeit hat man sich entweder überhaupt nicht beschäftigt, oder sie andeutungsweise auf die gleichen Ursachen zurückgeführt.

Unter den sehr günstigen Verhältnissen des Granits von Strehlen in Schlesien konnte ich nachweisen, daß Klüftung und Teilbarkeit in bestimmter geordneter Beziehung

stehen zu Merkmalen, die während der Erstarrung des Granits durch einen auf ihn gerichteten Seitendruck erworben wurden. Dadurch wurde es möglich, auch die Klüfte und Teilflächen selbst mit dem gebirgsbildenden Druck in eine feste Beziehung zu setzen und nun umgekehrt in anderen, weniger günstigen Granitgebieten aus der Lage jener

Fig. 1.



Bauquader des Granits von Strehlen in Schlesien; gesehen von SSW.

Lineare Richtungen: G („Gewicht“) = Belastung; F („Faser“) = Streckung, Parallelstellung der Mineralien; D = Seitendruck.

Flächenhafte Richtungen: L = Lagerfläche; S = Spalt- (Schiefer-) Fläche; K = Kopf- (oder Hirn-) Fläche; Q = Querfläche (mit Aplitgang).

Merkmale die Richtung und Wirkungsweise des während der Massivbildung tätigen Druckes abzulesen.

Bei der Wichtigkeit des Gegenstandes müssen wir auf Einzelheiten eingehen. Zum Verständnis dieses etwas schwierigen Abschnittes dient die Karte S. 16/17, sowie die schematische Fig. 1.

Bei Strehlen ist nicht nur das Vorhandensein, sondern auch die Richtung eines mit der Massivbildung gleichzeitigen Gebirgsdruckes nachweisbar, und zwar an drei Merkmalen aus der flüssigen Phase:

Kontakt,
Schollen und
Schlieren,

einem Merkmal, das, wenn man überhaupt so trennen kann, während der zähflüssigen Phase gebildet wurde:

Streckung,

und endlich an vier Merkmalen aus der Zeit während und unmittelbar nach der Erstarrung:

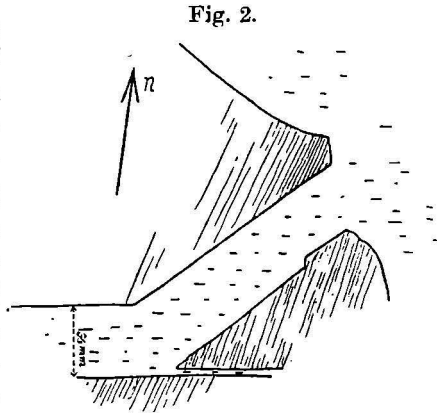
Klüfte mit Rutschstreifen,
Gänge,
Teilbarkeit.

Alle diese acht Merkmale sind gerichtet, stehen in einem festen, gegenseitigen Verhältnis und deuten übereinstimmend

auf einen Druck in der Linie SSO—NNW (von N 165° über O nach S, oder kürzer ausgedrückt: 165°).

Am sichersten und schärfsten zeigt diesen Druck die Streckung an. Eine schwache, nur bei scharfer Aufmerksamkeit erkennbare Parallelstellung der Mineralien verläuft im ganzen Gebiet ostnordöstlich; in dieser Richtung verleiht sie dem Granit eine zarte, lineare Faserung, die sich von oben und auch von S oder N her beobachten und messen läßt, während sie auf nach W oder O gekehrten Flächen, die sie queren, naturgemäß unsichtbar bleibt, so daß der Granit hier richtungslos-körnig erscheint. Streckung ist in gefalteten Sedimenten bekannt als die Richtung geringsten Druckes, in welcher das Gestein während der Gebirgsbildung ausweicht⁸⁾, sie steht auf der Richtung des größten Druckes natürlich senkrecht. Das gleiche haben wir, wie ich schon früher⁹⁾ gezeigt habe, auch im Granit anzunehmen, so daß dem östlichen Verlauf der Streckung bei Strehlen eine nördliche Druckrichtung entspricht (siehe auch Fig. 2).

Die Steinbrucharbeiter, die diese Streckung sehr gut kennen, sagen, der Granit sei „gewachsen wie ein (liegender) Baum“; die Streckung („Faser“) gleiche der Holzfaser. Wir wollen ihr den Buchstaben *F* beilegen. Der Vergleich hat aber darüber hinaus große praktische Bedeutung. Für den Steinarbeiter ist die Granitfaser dasselbe wie die Holzfaser für den Tischler: Mit der Faser läßt sich der Granit „spalten“. Genauer gesagt: Mit der Faser erhält man glatte, ebene, oft etwas schiefrige und dabei hell erscheinende Bruchflächen, während quer dazu die Bruchfläche, aus der gewissermaßen die einzelnen Fasern, wie an einem



Östliche Streckung des Granits von Strehlen zwischen diskordanten Schollen von nordnord-östlicher Streichrichtung.

durchgebrochenen Holzseheit, verschieden weit herausragen, höckerig, rauh, auch im großen nicht eben gestaltet ist und den Absichten des Steinmetzen allerlei Schwierigkeiten bereitet. Die Querrichtung wird sehr bezeichnend Kopf- oder auch Hirnseite, vielfach einfach Querseite oder nur „Unspalte“ (im Harz) genannt; sie ist durch die Lage senkrecht zur Faser eindeutig bestimmt und sei Fläche K genannt. Von den (unendlich vielen) Ebenen aber, die man durch die Faser legen kann, sind in Strehlen zwei bevorzugt. Erstens eine steilfallende Fläche, die also senkrecht zum Druck steht, und zweitens eine flache, fast wagerecht liegende, die in der Druckrichtung liegt (und auf der, wie wir sehen werden, der Belastungsdruck senkrecht steht). Diese beiden Flächen, die beide der Faser folgen und also Längs- oder Spaltflächen sind, unterscheiden sich voneinander weniger, als beide von der dritten. Wir wollen die steilstehende Spaltfläche, weil sie zugleich der Schieferungsebene in kristallinen Schiefen entspricht, mit dem Buchstaben S , die flach liegende mit dem gebräuchlichen Ausdruck der Arbeiter, als Lagerfläche oder Lager, L , bezeichnen. Durch S , K und L wird also ein kastenförmiger Block aus dem Granit herausgeschnitten (Fig. 1), dessen Längsachse der Faser folgt und dessen drei Grenzflächenpaare durch den Seitendruck D sowie durch den Belastungsdruck G eindeutig bestimmt werden:

Fläche S liegt in der Streckung und senkrecht zum Seitendruck,

Fläche L liegt in der Streckung und senkrecht zum Belastungsdruck,

Fläche K steht senkrecht zur Streckung und also in der Seitendruckrichtung.

Die Teilbarkeit des Granits ist also der mechanische Ausdruck einer leichten, oft latenten Streckung des Gesteins und wurde erzeugt durch einen während der Erstarrung auf die Schmelze gerichteten Druck.

Diese Feststellung in Verbindung mit der engen Beziehung zu anderen wichtigen Richtungen im Granit von Strehlen gestattet uns, den Druck und seine Richtung auch in anderen Granitgebieten nachzuweisen, wo nicht alle Merkmale gleich vollständig verwirklicht sind.

Eine Nachprüfung gestattet das ebenfalls ausnahmslos vorhandene Merkmal der Klüftung, insbesondere in Verbindung mit Gängen. Kein Granitgebiet der Erde ist, wie wir sahen, frei von ebenen Klüften, die es in natürliche Blöcke zerlegen. Bei Strehlen finden sich zwei Hauptkluftsysteme; ein nordsüdliches, mit sehr zahlreichen lang durchsetzenden und ebenen Kluftflächen, und ein ostwestliches, dessen Klüfte kürzer, weniger zahlreich und nicht so eben sind wie jene. Beide Kluftsysteme stehen ebenfalls in engster Beziehung zu dem während der Erstarrung wirkenden Druck und sind durch ihn gebildet.

Exakt beweisen läßt sich diese Behauptung für die nordsüdlich, also in der Druckrichtung streichenden Klüfte. Denn jede fünfte bis zehnte von diesen Klüften ist mit einem aplitischen Gesteinsgang erfüllt, der noch aus den tiefen Teilen des Granitherdes selber stammt und nachweislich unmittelbar nach der Erstarrung der Klufiwände emporgedrungen und in die Klüfte eingetreten ist. Ich habe diese Tatsache schon kürzlich hervorgehoben¹⁰⁾, inzwischen ist es mir gelungen, auch für die überwiegende Mehrzahl der zwischen den Aplitgängen stehenden Klüfte eine Mineralfüllung nachzuweisen, die nach Alter und Entstehungsweise noch mit der Granitbildung selbst zusammenhängt. In den meisten Fällen ist es das grüne Mineral Strigovit (ein Chlorit), das mit Quarz (und Feldspat) in einer für jeden Mineralogen sehr bezeichnenden Weise den Klufiwänden aufgeklebt ist, seinerseits dann von dicken Tapeten aus Brauneisen, Manganverbindungen usw. überklebt. All diese Füllungen oder Verunreinigungen der Nordklüfte beweisen, daß diese

1. frühzeitig, d. h. mit der Erstarrung des Granits entstanden und

2. daß sie bei ihrer Entstehung geöffnet wurden und auch später zum Teil sickernden Wässern offen standen.

Es ist sehr bezeichnend, daß dies nur von den in der Druckrichtung stehenden Klüften gilt, d. h. von denjenigen, die allein von sämtlichen möglichen Klüften von dem Gebirgsdruck nicht zusammengedrückt werden können.

Außer diesen Nordklüften gibt es aber, wie gesagt, in Strehlen ein zweites, weniger dichtes System von Klüften, die senkrecht zu jenem ostwärts streichen und also der Fläche *S* parallel gehen. Aber im Gegensatz zu den Nordklüften sind diese senkrecht zur Druckrichtung stehenden Ostklüfte geschlossen, und das Fehlen von Gangfüllungen, Verunreinigungen usw. beweist, daß sie auch bereits während und nach der Erstarrung und später geschlossen waren.

Wir unterscheiden also im Strehleiner Granit ein System von Druckklüften senkrecht zur Druckrichtung und ein System von zu Spalten erweiterten Zugklüften in der Druckrichtung.

Die Ostklüfte, die der Spaltrichtung *S* parallel laufen, sind als von der Natur hergestellte „Spaltflächen“ aufzufassen. Dagegen fallen die Nordklüfte nicht immer in die schwer teilbare Ebene von *K*, sondern teilen mit ihr oft nur die Streichrichtung, fallen dagegen merklich flacher (s. das Profil). Dieser scheinbare Widerspruch erklärt sich aus der Mitwirkung des Belastungsdruckes vollkommen, jedoch auf eine verwickelte Weise, die wir erst später (S. 34ff.) erläutern können. Wir wollen die von der Natur geöffneten Nordklüfte im folgenden von den künstlich hergestellten „Kopf“ebenen *K* als Querflächen *Q* unterscheiden.

Der Bauquader des Granits (Fig. 1) ist dadurch um eine vierte Fläche bereichert worden, von welcher nur die Streichrichtung, übereinstimmend mit *D* und dem Streichen von *K*, eindeutig bestimmt ist, während das Fallen nach Richtung und Steilheit eigens anzugeben ist: Es ist bei Strehlen nach *W* gerichtet und beträgt 55 bis 65°.

Außerdem ist aber auch der ganze Bauquader gegen die Horizontale, und zwar um 10 bis 20° nach *O* geneigt. Das Lager fällt unter diesem Winkel nach *O*, ebenso die Streckung („der Baum ist von Morgen gegen Abend gewachsen“) und die Kopffläche ist entsprechend unter 80 bis 70° gegen *W* geneigt.

Diese Neigung erklärt sich aus ungleicher Belastung während der Erstarrung. Denn wenn *F* (Streckung, Faser)

die Richtung des geringsten Druckes anzeigt, so steht diese Richtung offenbar nicht nur senkrecht auf dem Seitendruck D , sondern auch auf dem Belastungsdruck, den wir G („Gewicht“) nennen wollen. Denkt man sich nämlich die Belastung einen Augenblick aufgehoben, so müßte die Schmelze unter der Einwirkung des Seitendruckes senkrecht nach oben ausweichen. Wäre umgekehrt die Belastung überall gleich groß, so könnte ein relatives Ausweichen nur nach den Seiten, also wagerecht stattfinden. Daraus nun, daß F flach nach W ansteigt, folgt also, daß das Gewicht der auflastenden Massen von O nach W abnahm. Man kann sich diese Abnahme auch so vorstellen, als ob ein gleichmäßiger Druck schräg wirkte. Überblickt man die Lage von L und F in einem größeren Massiv, so kommt man zur Vorstellung, daß die Richtungen geringsten Druckes, die Dehnungsachsen, in langen flachen Wellen auf- und abstiegen, wie die Sattelachsen in Faltengebirgen.

Wir haben nun bereits zweierlei Druckwirkungen, zwei wesentlich verschiedene Arten der Aufzeichnung kennen gelernt. Streckung ist eine Aufzeichnung durch den zähplastischen, Klüftung eine Aufzeichnung durch den erstarrten Granit; die Teilbarkeit steht ungefähr dazwischen. Wesen und Wirkung des Druckes sind aber offenbar beidemal die gleichen. Denn, wenn Streckung den plastischen Stoff nach den Seiten dehnt, so haben die Zugklüfte die gleiche Wirkung auf den spröden. Die Klüftung erscheint als eine Fortsetzung der Streckung mit anderen, gewaltsamen Mitteln.

Danach ist es sehr verlockend, auch auf das der Streckung vorangehende Stadium einen Blick zu werfen. Über Bewegungen im „flüssigen“ Zustand des Granits belehren uns Schlieren, Schollen und Kontakte. Schlieren in bewegten Flüssigkeiten ziehen sich bekanntlich — wie z. B. in Glasflüssen — in der Bewegungsrichtung in die Länge, zeigen also den „Stromstrich“ unmittelbar an. Somit dürfen wir uns nicht wundern, wenn solche Entmischungsschlieren im Granit, meist dunkle, glimmerreiche Bänder, gern der Streckung folgen. Bei Strehlen fallen sie zumeist wie die Streckung, doch oft etwas

steiler nach O ab und geben eine Vorstellung davon, wie sich der Granit bereits vor der beginnenden Verfestigung quer zum Druck in die Länge gezogen hat. Wenn Blöcke des Nebengesteins in den flüssigen Granit geraten und hier zerbrechen, so müssen naturgemäß die Scherben ebenfalls von der Strömung ergriffen und quer zum Druck auseinandergezogen werden. So können¹¹⁾ große Blöcke in Schollen, Ketten oder Bänder, wie Seiten- oder Mittelmoränen aufgelöst werden, die dann an Schlierenstreifen als den „Geleisen“ der Bewegung aufgereiht sind.

Als „Aufzeichnungen“ des geologischen Druckmessers sind diese Zeugen des flüssigen Stadiums zu verschwommen und treten nicht regelmäßig genug auf. Oft wird daher an Stelle der flüssigen Phase eine Lücke in der Überlieferung klaffen und erst das nächst frühere Stadium, der Eintritt der Granitschmelzen in ihre feste Umgebung, wieder scharf fixiert sein. Hier geraten „flüssige“ und „feste“ Stoffe gleichzeitig nebeneinander; ihre Grenzflächen nennen wir „Kontakte“, Abzweigungen der Schmelzen ins Nebengestein Apophysen oder Gänge, umgekehrt Nebengesteinsteile innerhalb des Granits Einschlüsse oder Schollen. Indem also zwei Aggregatzustände, die auf denselben Druck ungleich antworten, sich mischen, müssen wir von vornherein mit sehr verwickelten Reaktionen rechnen: Stellenweise gehen beide nebeneinander her, so am Nordrand der in der Karte dargestellten Scholle *E*¹²⁾, wo sich die spröde Scholle ganz normal an Nordklüften spaltet, während der sie umschließende Granit plastisch in die Breite geht. Auch die Hauptgrenzflächen dieser, sowie einiger anderer Schollen folgen der Nordrichtung, so daß es scheint, als ob diese schon, bevor und während der Granit eindrang, die Rolle der Zugklüfte gespielt hätten, und der flüssige Granit also schon auf denselben Klüften emporgedrungen wäre, die nachher den festen zerteilen. Ist doch sogar das Einfallen jener vorgranitischen Flächen ein ähnliches, tektonisch gebundenes, wenn auch zum Teil nach der anderen Seite gerichtet! Dagegen zieht die Mehrzahl der Kontakte und besonders der, von der flüssigen Phase kaum berührten Gangspalten nordwestlich. Es tritt dadurch eine neue

diagonale Richtung in den Bauquader ein, die wir an anderen Stellen regelmäßig antreffen und dort auch erklären werden.

Vorerst wollen wir das bisher Gewonnene feststellen:

Der Granit steht in der Kruste unter seitlichem Druck. Dieser drückt den Granit, solange er nachgeben kann, in der Druckrichtung zusammen und dehnt ihn quer dazu (Querdehnung), mit ihm eingeschlossene Schlieren und Schollen.

Unter Einwirkung des Druckes verläuft auch die Erstarrung.

Dadurch erwirbt das Gestein eine lineare „Faserung“, die, wenn sichtbar, als „Streckung“ erscheint, sonst in einer ungleichen Teilbarkeit des Granits nach zwei aufeinander senkrechten Ebenen zum Ausdruck kommt. Eine dritte Teilungsebene fügt der Belastungsdruck hinzu.

Demselben mit und nach der Erstarrung wirkenden Druck verdankt der Granit seine Hauptkluftrichtungen.

Wahrscheinlich ist bereits der Eintritt der Schmelze in ihr Nebengestein unter demselben Druck vor sich gegangen und durch ihn geregelt oder ermöglicht worden.

Da regelmäßige Teilbarkeit und regelmäßige Kluftrichtungen allgemeine Erscheinungen in Granitgebieten sind, so ist anzunehmen, daß auch den übrigen Beobachtungen bei Strehlen allgemeine Geltung zukommt, d. h. daß alle Granitmassive von dieser Art unter Seitendruck erstarrt sind, daß allgemein Streckung, Klüftung, Teilbarkeit und Gänge von diesem Seitendruck abhängen und daß sie seine Richtung anzeigen.

2. Die Entstehung des Riesengebirges.

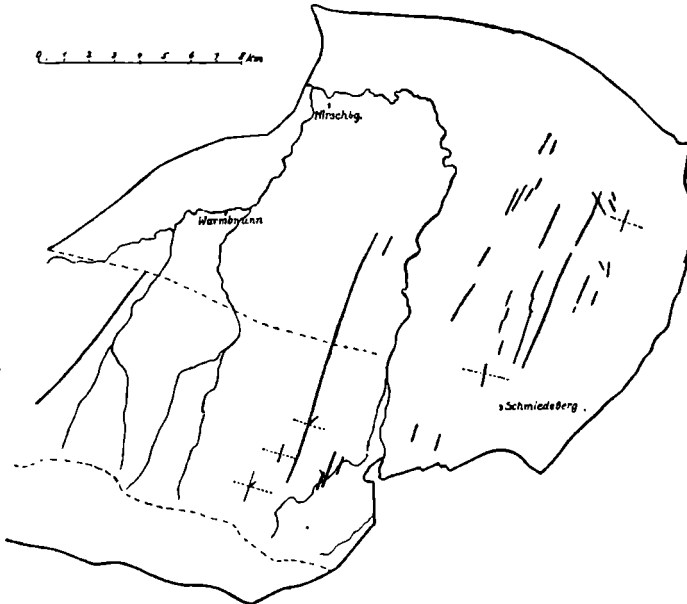
(Hierzu Fig. 3.)

Das Granitgebirge Deutschlands ist das Riesengebirge. Ist es doch das einzige, das — mit Ausnahme seines höchsten Gipfels — fast ausschließlich aus Granit aufgebaut wird. Die phantastischen Felsgruppen, die seinem Kamme aufgesetzt, vor seinem Fuße in Wald und Wiese wie von Künstlerhand verteilt sind, sind an geordneten Klüften ausgerichtet, und

schon in dem beinahe geometrischen Netz seiner Bach- und Flußrinnen verrät sich ein geheimes System von inneren Linien, die den äußeren Kräften Weg und Ziel vorgezeichnet haben.

Gänge. Die geologische Karte¹³⁾ zeigt noch mehr. Sie lehrt auf den ersten Blick, daß von diesen Klüften die nord-nordöstlich verlaufenden vorzugsweise von nachdringenden Schmelzmassen aus der Tiefe benutzt und zu Gängen von

Fig. 3.



Kartenskizze der Tektonik und Morphologie des östlichen Riesengebirgsgranits.

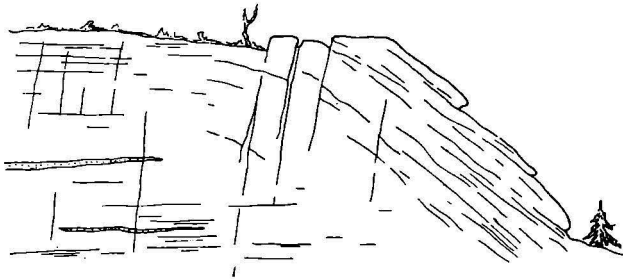
Druck von SSW. Gänge (schwarze, gerade Linien) und Talrinnen in der Druckrichtung; Kamm, Südrand des Hirschberger Kessels, Streckung und Hauptgrenzen des Massivs senkrecht dazu. Nach Beyrich usw., G. Berg, Gürlich, Rimann und eigenen Beobachtungen. Maßstab 1: 300 000.

Granitporphyr, Lamprophyr, Aplit usw. aufgefüllt worden sind, während sich im Verlauf des Kammes, des Nordfußes gegen den Hirschberger Kessel, des Nordrandes bei Hirschberg selbst, des Südrandes gegen die Schiefer des böhmischen Abfalles eine darauf senkrechte Richtung ausprägt, die nicht von Eruptivgängen benutzt wird. Je tiefer man in den Bau des Gebirges hineinblickt, desto zahlreicher und klarer treten solche scharfen Linien hervor.

Klüfte. Stimmen die Strehlemer Regeln auch hier, so müßte man also erwarten, daß der Druck in Richtung der Eruptivgänge und Täler gewirkt hätte und die Fläche *S* also ost-südöstlich, d. h. parallel der Kammlinie und dem Streichen der gefalteten Nachbarschaft im S und N verlief.

Meine Beobachtungen brachten volle Bestätigung. Dabei wandte ich die Vorsicht an, die eigenen Messungen von den Angaben der Arbeiter zunächst unbeeinflußt zu halten. In dem Steinbruch bei Jannowitz findet man Klüfte und Teilungsflächen dreier Systeme. Eine Gruppe streicht ost-südöstlich (110 bis 115°), fällt mit 75° nach S und liefert ebene, schöne, glatte Klüfte von schiefriger Oberfläche, im Abstände von

Fig. 4.



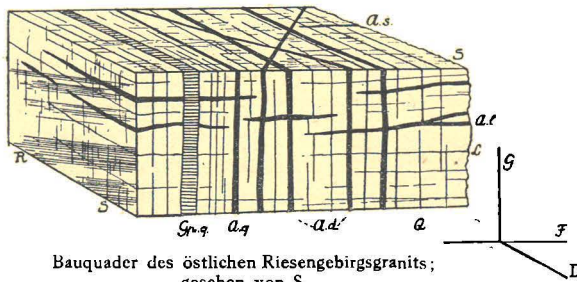
Verhältnis der primären, fast wagerechten, ebenen Lagerfugen (mit Apliten, punktiert) zu den sekundären, der heutigen Oberfläche parallelen, unebenen Bankungsfugen. Steinbruch bei Jannowitz im Riesengebirge.

1 bis 3 m; ihnen gleich sind die künstlich mit Keil und Meißel nach dieser Richtung erzielten Flächen; Fläche *S*. Senkrecht darauf stehen dagegen steil bis saiger fallende Klüfte von nord-nordöstlichem Streichen (30 bis 15°), deren natürliche Ablösungen zwar ebenfalls sehr glatt und eben (nicht schiefrig) und meist deutlich mit Brauneisenkrusten bedeckt sind, nach denen sich künstliche Flächen aber nur widerwillig bilden und dann rau, höckerig, uneben ausfallen: Fläche *K*, ungefähr mit *Q* zusammenfallend. Eine schwache, aber auf durch Regen polierten wagerechten Flächen scharf meßbare Streckung, meist einer feinen Rissigkeit parallel gehend, lief 95 bis 110°, 110°, 108°, 110°, 105°, 95 bis 105° usw. Die Mitwirkung des Belastungsdruckes endlich ist durch ein fast horizontales (oder

aber flach [5 bis 7°] südlich oder südöstlich fallendes) „Lager“ ausgesprochen; diese Fläche (L) ist unabhängig von der heutigen Oberfläche, wird von den der Oberfläche parallel gehenden Bankungsfugen durchschnitten und liefert Fugen, die nicht weniger eben und glatt sind, als die nach S gespaltenen^{13a}).

Der Bauquader. Wir finden nun grundsätzlich das gleiche an fast allen übrigen von mir untersuchten Stellen des östlichen Riesengebirges. Überall streicht die beginnende Schieferung (S), zuweilen als Rissigkeit, meist nur als eine Richtung geschlossener, oft eng gescharter Fugen, ost-südöstlich (Zahlen gibt die Karte und der Anhang). Fast überall gehen quer zu ihr die geraden, ebenen, meist mit Brauneisen- oder

Fig. 5.



Bauquader des östlichen Riesengebirgsgranits;
gesehen von S.

Vorn rechts die Spaltfläche, links die Querfläche, oben das „Lager“. Dem Lager und der Kopfseite gehen Gänge (schwarz und schraffiert) und Klüfte parallel, der Spaltseite nur Klüfte. Auf der Querklüft links Rutschstreifen, unter 15° nach N fallend. Gp = Granitporphyr; A = Aplit; q = quer; d = diagonal; l = dem Lager folgend; S und s = Spaltflächen.

Quarzhäuten, oft mit Eruptivgängen angefüllten offenen Klüfte Q . Besonders augenfällig ist die Ungleichwertigkeit beider Richtungen in den großen Steinbrüchen am Riddelfelsen bei Schmiedeberg. Man unterscheidet Q und S beim Betreten der Brüche ohne Kompaß auf den ersten Blick. Obendrein ist Q oft, S nie mit Quarzblättern ausgekleidet, Q fast immer braun, S hellfarbig, von Rissen begleitet, oft verbogen und schiefrig. Besonders schön sind hier auf den riesigen ebenen Wänden von Q Streifen zu sehen, welche die Bewegung der beiden an die Fläche angrenzenden Schollen anzeigen. Diese Rutschstreifen (die auf S fehlen) laufen auf den steilen Flächen entweder wagerecht oder aber fallen (mit wenigen Aus-

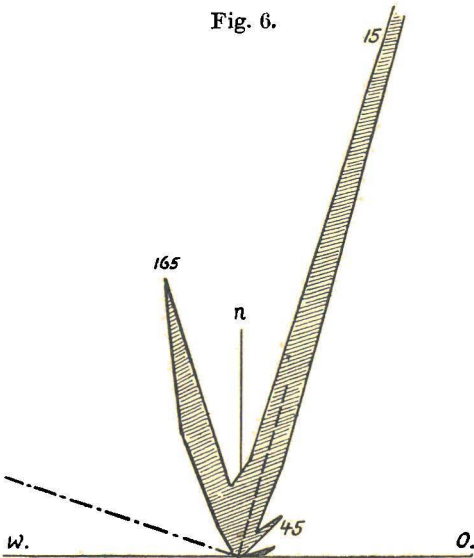
nahmen) flach (5 bis 15°) nach N. Dies besagt, daß die Bewegung der Schollen sanft abwärts nach N gerichtet war, und entspricht einer Beimischung von, roh gesprochen, etwa 10 Proz. Belastungsdruck zu dem Seitendruck, der die Fläche erzeugte und die Bewegung vermittelte.

Das Granitmassiv des Riesengebirges ist also unter demselben von SSW kommenden Druck gebildet und erstarrt, der auch die Sedimente seines Rahmens in Falten gelegt und etwa die älteren Granite des Nord- und Südrandes zu Gneisen gepreßt hat.

Auch Streckungen, die den Beweisgang schließen, fand ich noch mehrfach. So im Lomnitzbett oberhalb Bahnhof Krummhübel an zwei Stellen (115° bzw. 100 bis 110°). Ferner in der Umgebung des Dorfes Buchwald am Waldwege vom Riddelfelsen: 100°, 115°, 105° (unmittelbar südlich *B* von „Buchwald“ der topographischen Spezialkarte); hier auch künstliche *S*- und *K*-Flächen von der erwarteten Beschaffenheit und Lage (100 bzw. 15). Unzählige Kleinigkeiten werden im Lichte dieser Auffassung erklärt. So lernt man zahlreiche Felsgruppen — am schönsten vielleicht die „Dreisteine“ — als härtere Zonen im Granit verstehen, die in derselben Richtung angelegt wurden, die dann das fertige Gestein zerlegte und der Verwitterung preisgab. Der Durchkreuzung einer bankigen Querkluftung 30 bis 35° und einer dünnen beinahe schiefrigen Längskluftung von 110 bis 120° verdanken die alpinen Felsabstürze am Kleinen Teich ihre großartige Zergliederung. Die gleichen Werte maß ich an der Felsgruppe des Katzenschlusses. Aber während in den steilen Wänden der Teiche und Schnee gruben die steilen Fugen weit aufklaffen, tritt hier wie an den meisten aufgesetzten Felsgruppen die Lagerfläche stärker hervor, die dort fast verschwindet¹⁴).

Diagonalfächen. Außer den Quer- und Längsfugen treten aber im Riesengebirge noch andere Flächen auf, die diagonal und ungefähr symmetrisch zu beiden Seiten der Druckrichtung angeordnet sind. Die linke von beiden (im Sinne des Uhrzeigers in der Nordhälfte gezählt) wird durch Gangfüllungen anschaulich auf Blatt Kupferberg (Fig. 3 und 6). Die rechte habe ich, von der linken seltener be-

gleitet, in großer Zahl im Bett der großen Lomnitz bei Brückenberg gemessen, wo sie durch Aplitgänge belegt und datiert wird (Fig. 7). Unter den 43 gemessenen Aplitgängen fallen 30 zwischen 40° und 80° , davon 22 zwischen 40° und 60° , 5 in die Druckrichtung und 4 auf die linke Diagonale. Nur ein einziger Aplit, dessen Gangnatur nicht einmal ganz sicher ist, streicht senkrecht zum Druck (120°). Die Druckrichtung selbst ist fast ganz konstant und wird ebenso deutlich durch Scharen



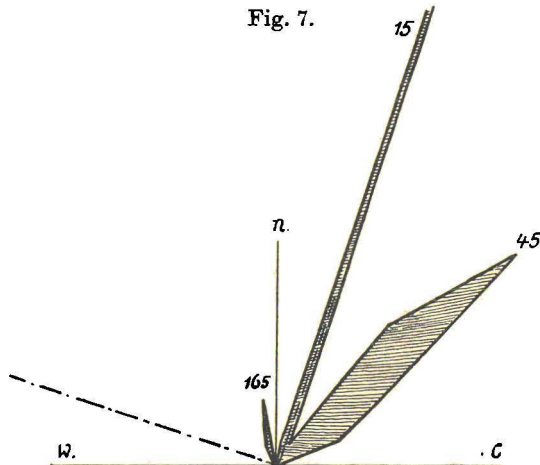
Gangrose von Blatt Kupferberg im östlichen Riesengebirge. Nach den Aufnahmen von G. Berg konstruiert. Die Länge der Radien entspricht der Gesamtlänge der in ihre Richtung fallenden Gänge.

Gänge fallen vorwiegend steil (70°) nach W und ihre Wände sind mit ganz flach (10°) nordfallenden Rutschflächen bedeckt (wie bei Schmiedeberg).

Mechanische Erklärung. Da alle diese Aplite unzweifelhaft noch zum Riesengebirgsgranit gehören, so haben wir also auch in den Diagonalgängen ursprüngliche, unmittelbar an die Granitbildung anschließende Spalten vor uns. Für ihre mechanische Deutung ist zunächst wichtig, daß sie innerhalb eines rechten Winkels liegen, der

sehr ebener, scharfer, streng paralleler Querflächen in Richtung 20° bis 30° , wie durch eine minder geradlinige, oft rissige, schiefrige Fugenbildung nach 110° bis 120° angezeigt. Fast ausschließlich der Querfläche folgen die etwas jüngeren Quarzblätter, von denen etwa 20 gemessen wurden, sowie die mächtigen Granitporphyrgänge, die an mehreren Stellen das Bachbett durchsetzen und außerdem in der Nachbarschaft im Steinbruch aufgeschlossen sind. Diese

von der Druckrichtung halbiert wird (Fig. 6 und 7). Man kann nun für jede Diagonalfäche den Druck in zwei Komponenten zerlegen, von denen die eine in Richtung der Diagonale „schiebt“, die andere senkrecht dazu drückt. Dann wird, je mehr eine Diagonalfäche von der Druckrichtung abweicht, desto kleiner die schiebende, desto größer die drückende Komponente. Die Mehrzahl der Gangspalten im östlichen Riesengebirge liegt also in demjenigen Quadranten, in welchem die parallele, schiebende Komponente ebenso groß oder größer ist als die senkrechte, welche die Diagonalfäche verschließen würde.



Gangrose der Gegend zwischen Krummhübel, Brückenberg und dem Kleinen Teich im östlichen Riesengebirge. Nach eigenen Aufnahmen.

Daß auf der Diagonalfäche schiebende Bewegungen vor sich gehen, läßt sich tatsächlich beobachten (Fig. 8 und 9). Während die Querflächen zunächst nur einer ungleichen Vorwärtsbewegung dienen, ist an den Diagonalfächen mit der Vorwärtsbewegung eine Seitenverschiebung verbunden; die Gesteinsmasse wird mit Hilfe solcher Flächen zugleich in der Druckrichtung verkürzt und senkrecht dazu gestreckt. Die Diagonalfächen dienen also dazu, die Streckung der plastischen Schmelze am erstarrten Gestein fortzusetzen. Sie erfüllen diese Aufgabe vollkommener als die Querfugen, die zu dem gleichen

Zweck geöffnet werden müssen und dementsprechend am häufigsten mit Gangmassen erfüllt sind. Diagonalfugen können auch

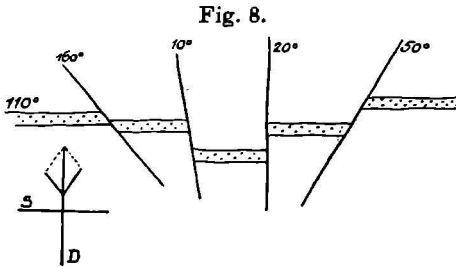


Fig. 8.
Zerlegung des Granits mit einer streichenden Aplit-schliere (punktiert) durch Quer- und Diagonalverschiebungen. Bett der großen Lomnitz oberhalb Krummhübel im Riesengebirge.

geöffnet werden, und zwar desto leichter, je mehr sie sich der Druckrichtung nähern, aber sie müssen es nicht. Dem entspricht, daß sie häufig, aber nicht regelmäßig und nicht über so große Entfernungen wie jene, zu Gängen aufgefüllt wurden.

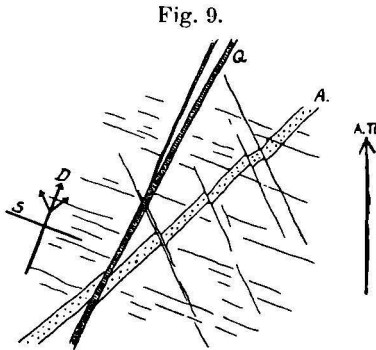


Fig. 9.
Dreiphasige Zerlegung des Granits durch Spalten (zum Teil mit Gängen) und Verschiebungen in der Quer- richtung und in den beiden Diagonalen. Lomnitzbett.

Wir werden mit solchen Diagonalgängen noch in großem Maßstabe zu tun bekommen und wollen zur rascheren Verständigung die von der Druckrichtung halbierten rechten Winkel als Zugquadranten, die beiden anderen, die also von der Fläche *S*, bzw. der Streichrichtung gefalteter Schichten halbiert werden, als Druckquadranten bezeichnen.

Ausgezeichnete Beispiele für Diagonalverschiebungen und ihre Bedingungen liefert die Technik:

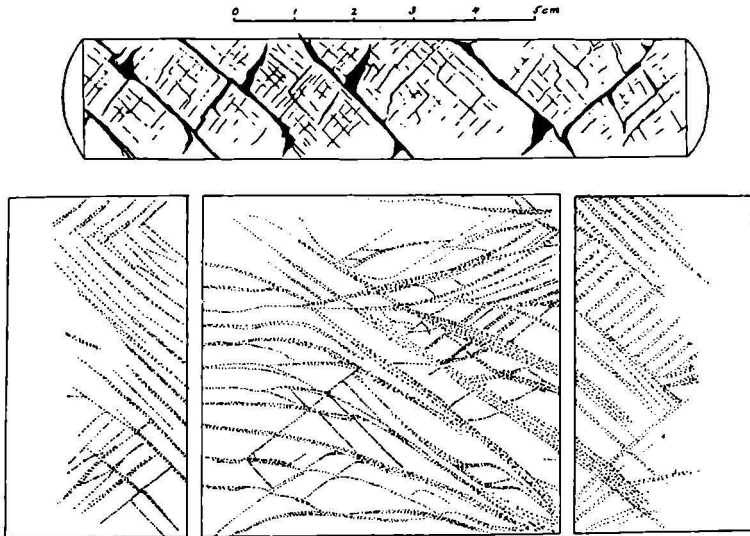
3. Analogien zur Technik.

Druckversuche, die in der Anordnung der Bedingungen unseren Gegenständen ähneln, sind seit langem zur Prüfung von Baustoffen und Metallen, insbesondere Stahl usw. vorgenommen worden. Ich bin auf ihre Verwandtschaft mit geologischen Erscheinungen durch eine Abbildung des Rinneschen Lehrbuches der Gesteinskunde, sowie durch zwei ihr

zugrunde liegende Abhandlungen von F. Rinne¹⁵⁾ aufmerksam geworden, wo eine Marmorsäule durch diagonal zur Druckrichtung verlaufende Flächen zerlegt wird, deren Schnittfiguren mit der Oberfläche als Mohrsche Linien bezeichnet werden.

Ich sah sie dann verschiedentlich bei Beton und am schönsten und vor allem während der Entstehung an Metallen¹⁶⁾. Sie entstehen hier ebensowohl bei Zug- wie bei Druckbeanspruchung und werden Fließfiguren genannt. Der Stab dehnt bzw. verkürzt sich zunächst elastisch bis zur Streck-

Fig. 10.



Fließ- und Bruchlinien in den diagonalen Ausweichrichtungen an Metallen.
Druck von oben und unten.

grenze, dann beginnt seine Oberfläche rau und matt zu werden (durch austretende Kristalle), und zwar beginnt auf nochglänzend polierter Oberfläche unter günstigen Bedingungen diese Veränderung längs solchen gesetzmäßig angeordneten Linien oder Bändern. Am nächsten dem Verhalten beim Granit kommt der in Fig. 10 (oben) abgebildete Versuch. Zunächst verkürzte sich die Metallsäule plastisch und bauchte sich nach den Seiten tonnenförmig aus („Querdehnung“). Nachdem diese sozusagen plastische Umformung einen gewissen

Betrag erreicht hatte, begann sich ein dichtes Netz diagonalen Risse zu bilden, von denen sich einige bei fortschreitendem Druck zu Spalten erweiterten, bis schließlich an ihnen diagonale Schiebungen einsetzten und den Zusammenhang der Teile allmählich aufhoben.

Für unsere Zwecke besonders lehrreich sind Erscheinungen an einem eisernen Flachstab von $57 \times 57 \times 25$ mm (Fig. 10 unten), der auf eine Schmalseite gedrückt wurde. Die Abschiebung war natürlich in Richtung der geringsten Dicke am leichtesten. Infolgedessen entstanden Keile, deren Schneiden ungefähr senkrecht zum Druck auf der Breitseite austraten, während sich auf der Schmalseite die Kluftflächen in normaler Weise schnitten. Auf die Erdkruste übertragen, ist die Breitseite Erdoberfläche (bei geringer Belastung), und der austretende Keil entspricht einer normalen Überschiebung (bei Wiederholung Schuppen). Bei höherer Belastung dagegen, wie wir sie auf Granitmassiven haben, werden die Flanken Richtung des leichtesten Ausweichens, und die Keile stehen dann senkrecht und schneiden sich in senkrechten Linien, die auf Horizontalebene als Diagonalnetze erscheinen.

Diese Ausweichflächen oder Mohrschen Linien, wie wir sie im Anschluß an F. Rinne weiterhin nennen wollen, sind von W. Lüders 1860 zuerst beobachtet worden. Eine übersichtliche Darstellung findet man in dem O. Mohrschen Lehrbuch, während dem Geologen die oben genannten beiden Aufsätze von F. Rinne zugänglicher und in ihrer Anwendung auf natürliches Material auch wichtiger sind. O. Mohr schreibt auf S. 210 und 211 des genannten Buches:

„Die an einem gleichartigen Körper nach Überschreiten der Elastizitätsgrenze zu beobachtenden Formänderungen erstrecken sich nicht auf die kleinsten Teile des Körpers. Sie bestehen vielmehr darin, daß Körperteile von endlicher Ausdehnung in zwei Gruppen von Gleitschichten sich gegeneinander verschieben. Die Spuren dieser Gleitschichten an der Oberfläche des Körpers bilden die Fließfiguren. Bei gleichbleibender Art und wachsender Größe der Inanspruchnahme bleibt die Stellung der Gleitschichten unverändert bis zum Bruch. Oft fallen die Bruchflächen zusammen mit einzelnen

Gleitschichten. Die benachbarten Gleitschichten einer Gruppe sind parallel zueinander gestellt. Beide Gruppen kreuzen sich unter einem Winkel φ , dessen konstante Größe nur von der Materialbeschaffenheit, also nicht von dem Spannungszustande der betreffenden Körperpunkte und nicht von der Größe der Spannungen abhängig ist. Bei gleicher Gattung, aber wechselnder Beschaffenheit des Materials weicht der Schnittwinkel φ desto mehr von 90° ab, je härter und spröder das Material ist, je mehr also die Druckfestigkeit über die Zugfestigkeit überwiegt. Die Abweichung ist z. B. größer für harten Stahl als für weichen. In Prismen, die in ihrer Achsenrichtung gezogen oder gedrückt werden, wird der Gleitschichtenwinkel von der Achsenrichtung halbiert. Dieser von der Achsenrichtung halbierte Winkel ist in einem gezogenen Prisma stets größer, in einem gedrückten Prisma stets kleiner als 90° , mit anderen Worten: der spitze Winkel φ wird durch die Richtung von σ_k , der stumpfe ($180 - \varphi$) durch die Richtung von σ_s halbiert. Für ein und dasselbe Material ergänzen sich die oben bezeichneten, bei Zug und Druck von der Achsenrichtung halbierten Winkel zu 180° . Sie ändern sich nicht, wenn ein gerades Prisma in einer Achsenrichtung gezogen und gleichzeitig rechtwinklig zu dieser Richtung gedrückt wird.“

Zwei von den Mohrschen Abbildungen (17 und 18 auf S. 209) lehren etwas für unsere Zwecke sehr wichtiges, das auch aus meinen Proben (Fig. 10 dieser Arbeit) hervorgeht: Die Fließ- bzw. Bruchlinien sind nicht gleichmäßig verteilt, insbesondere sind nicht überall beide Systeme verwirklicht, sondern im Gegenteil lösen sie vielfach geradezu einander ab, so daß flächenweise das eine oder das andere System allein herrscht. Eine solche Einseitigkeit ist bei Anwendung auf geologische Verhältnisse beinahe zu fordern. Denn selten wird in der Erdkruste das Gestein nach zwei entgegengesetzten Richtungen gleich gut ausweichen können; bei symmetrischen Granitmassiven zum Beispiel dürfte diese Bedingung nur in der Mitte verwirklicht sein. An den Rändern von Massiven, Faltengebirgen, großen Blöcken wird dagegen die Masse vorzugsweise nach außen, viel weniger ins Innere, ausweichen und abschieben.

Noch nicht aufgeklärt ist die große Winkelverschiedenheit der Ausweichflächen in dem Versuch an Marmor (60°) und an Metallen und der Mehrzahl der anderen Versuchsstoffe (nahezu 90°). Doch dürfen wir mit F. Rinne sicher sein, daß hieraus kein Wesenunterschied, sondern nur ein Gradunterschied spricht. Wir dürfen also auch für die Anwendung auf die Erdkruste mit Übergängen rechnen. Um so interessanter wird es sein, später die Abhängigkeit dieses Winkels vom Material und vor allem von der Bildungstiefe, die ja die Plastizität wesentlich mitbestimmt, zu erforschen. Heute brauchen und dürfen wir uns auf Berechnungen noch nicht tiefer einlassen, um so weniger, als ja die Bedingungen in der Natur denjenigen des Versuchs nicht genau entsprechen. Im Druckversuch nämlich kann die Masse ausschließlich nach den Seiten, in der Natur dagegen außerdem nach vorn, d. h. in der Druck-, Faltungs-, Überschiebungs-, Bewegungsrichtung ausweichen. Wichtig wäre also hier nur, diese Abweichungen vom Versuch aus den Abweichungen in den Bedingungen zu berechnen. Mit zu berücksichtigen wäre ferner, daß die Natur mit sehr ungleichartigem Material arbeitet, sowie, daß bei Granitmassiven die Zerreißung höherer Teile auf einem Untergrund vor sich geht, der sich noch zu dehnen vermag und dem sich die Oberlage anpassen muß.

Zwischen Natur und Experiment bestehen folgende Unterschiede:

1. Während im Experiment der Schnittwinkel der Mohrschen Flächen meist nahe an 90° , seltener bei 60° liegt, geht er in der Natur von diesen Werten gelegentlich bis zu 0° herunter, d. h. es gibt zwischen Diagonal- und Querflächen Übergänge. — Mir scheint, daß eben diese Tatsache durch das Fehlen eines unüberwindlichen Widerlagers geradezu gefordert wird.

2. Die natürlichen Diagonalfächen zeigen vielfach Neigungswinkel (mit der Horizontalen), die sich nicht allein aus dem Seitendruck herleiten lassen. Hierfür soll im folgenden Abschnitt der im Experiment belanglose Belastungsdruck herangezogen werden.

4. Analogien zur Gebirgsbildung.

Brüche und Falten.

Wir knüpfen wieder an die Granitbeobachtungen an.

Durch eine so vollkommene und weitgehende Abhängigkeit vom Seitendruck, wie wir sie in Schlesien sahen, rückt der Granit in eine Reihe mit den anderen, „normalen“ Stoffen der Gebirgsbildung, und die mechanischen Probleme des Granits verschieben sich automatisch auf ein Gebiet, das bereits eingehend erforscht und bis zu einem gewissen Grade bekannt ist. Bevor wir die dortigen Ergebnisse für die Granitfrage nutzbar machen können, müssen wir sie unabhängig davon kennen lernen: Hat die Gebirgsbildung Erscheinungen, die den am Granit erkannten ähnlich sind und sich für deren Deutung verwenden lassen?

Entscheidend für die Wirkung des Druckes auf Gesteine ist bekanntlich, ob diese nachgeben oder nicht, ob sie „biegen oder brechen“. Biegung von Schichten liefert, zur Faltung gesteigert und in großem Maßstabe durchgeführt, die Faltengebirge. Zerbrechung dagegen zerlegt, wo sie rein auftritt, die Kruste in eine Summe von Schollen (Bruch- oder Schollengebirge); Mischformen sind als Bruchfaltengebirge usw. bezeichnet worden. Für uns sind am lehrreichsten diejenigen Fälle, wo der Stoff (ähnlich Granit beim Erstarren) während der Fortwirkung des Druckes aus dem plastischen in einen starren Zustand übergeht. Dieser Fall tritt häufig, unter bestimmten Bedingungen, in bestimmten Augenblicken ein.

Denn Faltung setzt bekanntlich Schichten voraus, die wie der Stoß Papier, an dem man den Vorgang verdeutlicht, biegsam und zugleich durch Gleitflächen geteilt und geschwächt sind. Auch muß der Druck ungefähr in Richtung solcher Fugen ansetzen. Sind diese Bedingungen verwirklicht, so weichen die Schichttafeln nach oben zu Sätteln (Antiklinalen) aus, zwischen denen Mulden (Synklinalen) zurückbleiben. Im Querschnitt (Profil) sieht man Wellen, im Kartenbilde Ketten und Längstäler, die durch Abtragung zu Bändern verschieden alter Gesteine niedergeschliffen werden können und deren

Streichrichtung ungefähr senkrecht zum Druck steht. Jedes noch so einfache Faltengebirge zeigt, daß diese Grundformen unendlich variieren und daß sie von Brüchen durchschnitten werden können. Dies tritt regelmäßig dann ein, wenn bei fortwirkendem Druck entweder die Faltung selbst (oder hinzutretende Umstände) ihre eigenen Bedingungen aufhebt. Stellen sich nämlich die Sättel und Mulden so steil, daß die Schichtfugen untereinander parallel und etwa senkrecht zum Druck zu stehen kommen, so büßen sie ihre Verwendbarkeit als Verschiebungsflächen ein, und es tritt ein Zustand ein, den wir (nach Analogie von totgebrannt, totlaufen usw.) als *totgefaltet* bezeichnen können. Die Schichtmasse reagiert dann auf den Druck wie ein ungefügiger Block. Das gleiche tritt ein, wenn während der Faltung Granit unter oder zwischen die Schichten eindringt, erstarrt und das Gebirge zementiert. Ferner kann die Plastizität durch Entlastung von höheren Schichten verringert werden, woraus z. B. A. Heim die Querbrüche des Säntisgebirges ableiten möchte. Endlich könnte vielleicht auch die Geschwindigkeit von Bedeutung sein, da doch z. B. Siegellack, der langsam fließt, unter dem Hammerschlag splittert. Hierüber ist noch gar nichts bekannt.

In allen diesen Fällen tritt fast dasselbe ein, was wir bereits am Granit beobachtet haben:

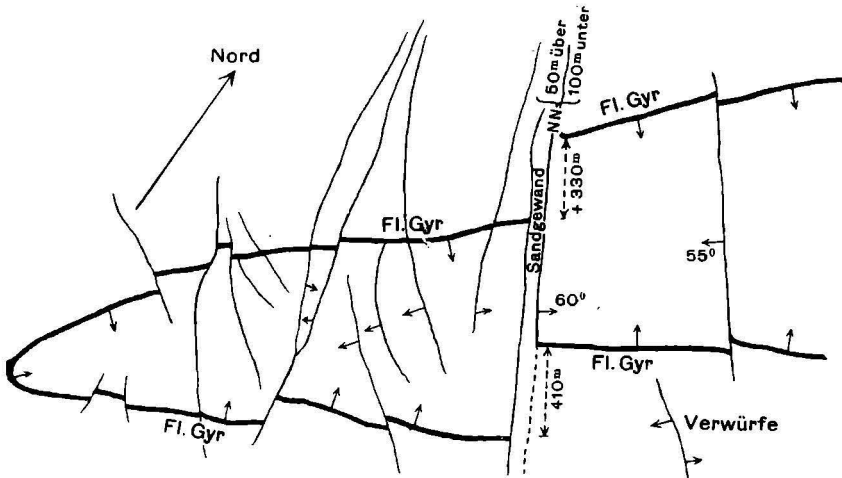
In erster Linie reißen zahlreiche Klüfte in der Druckrichtung auf, die das Schichtstreichen ungefähr senkrecht schneiden und zunächst der ungleich raschen Vorwärtsbewegung benachbarter Gebirgsteile, demnächst einer Streckung des Gebirges im Streichen, einer Querdehnung also, dienen. Die Spaltenöffnungen werden nämlich entweder ebenso wie im Granit durch Stoffzufuhr aus der Tiefe (Mineral-, Erzgänge, Eruptivgänge usw.) oder aber, da transportable Stoffe nicht immer zur Verfügung stehen, nur durch Scholleneinbruch von oben nach unten beglichen. Unter Mitwirkung der Schwere — wir kommen darauf noch eingehend zurück — verschieben sich nämlich die Querschollen an schiefen Klüften so, daß sie nach der Verschiebung im Streichen einen breiteren, quer dazu einen schmäleren oder höchstens den gleichen Raum einnehmen. Beispiele für diese Vorgänge liefert uns fast jedes

gefaltete Gesteinststück, in größerem Maßstabe beinahe jeder eingehend kartierte Ausschnitt aus Gebieten, die oberhalb der plastischen Tiefenzone gefaltet wurden (Fig. 11) ^{15a}).

Die Wirkung einer „Querdehnung“ wird jedoch viel leichter und gründlicher durch Diagonalbrüche erreicht, die nach Art der Fließfiguren die Schollen sowohl vorwärts, wie auch zugleich seitwärts bewegen.

Ich möchte auf die große Bedeutung solcher „Mohrschen Linien“ für den Bau unserer Gebirge mit allem Nachdruck hinweisen. Denn wir begegnen „Ver-

Fig. 11.



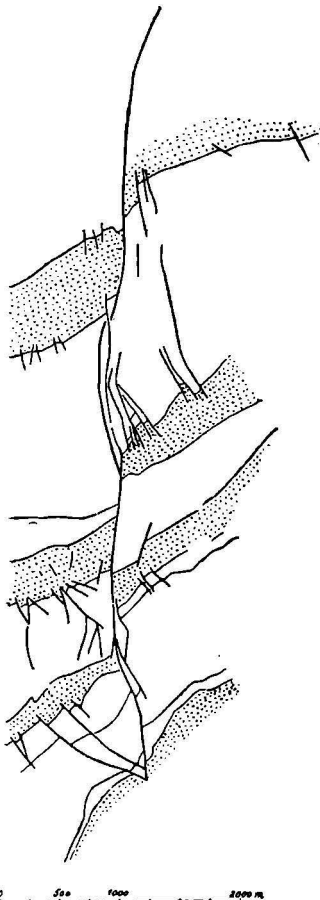
Quersprünge im gefalteten Steinkohlengebirge bei Eschweiler.
Nach Holzapfel aus Höfer.

wurfungen“, die das Schichtstreichen schief schneiden und an denen Horizontalverschiebungen im Sinne der Theorie bereits von zahlreichen Beobachtern registriert wurden, in fast allen Faltengebirgen. Ganz neuerdings hat im Schweizer Jura Alb. Heim zwölf solche Blätter beschrieben, die schief den Faltenbogen durchsetzen und an seiner Dehnung meßbaren Anteil nehmen. Doch ist hier nur die, im Sinne des Uhrzeigers, rechte Mohrsche Fläche entwickelt. Alle beide hat in großartigem Maße der gleiche Forscher im Säntisgebirge festgestellt und in der, für zahllose Erscheinungen der Gebirgs-

bildung überaus lehrreichen Karte und Beschreibung dieses Gebirges ¹⁶⁾ niedergelegt.

Der größte Quersprung des ganzen Gebietes, der bekannte Sax-Schwendibbruch ist selbst das schönste Beispiel (Fig. 12).

Fig. 12.



Der Sax-Schwendibbruch im Sântisgebirge.
Umgezeichnet nach der Sântiskarte von
Alb. Heim.

Nördlich streichend, weicht er von der nordwestlichen Druckrichtung im Mittel um 45° ab, fällt senkrecht und an ihm rückt der Nordostteil des Gebirges um Hunderte von Metern, stellenweise vielleicht bis 1200 oder 1500 m vor. Mit der Verschiebung in der allgemein nordwestlichen Bewegungsrichtung ist also eine nach NO, senkrecht dazu, verbunden; die Ketten sind um mehrere 100 m gestreckt worden. Außerdem hat eine Senkung des Nordostflügels von mehreren 100 m stattgefunden, so daß die Resultante dieser drei Komponenten flach nach N absteigt, was sich in ebenso gerichteten Rutschstreifen abzeichnet. Von gleicher Lage und Wirkungsweise sind noch eine große Zahl anderer von den 370 Quersprüngen des Gebirges. Alle sind jünger als die seltenen, in engstem Anschluß an die Faltung entstandenen Längsbrüche (S. 263), in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle war die Verschiebung eine fast horizontale (S. 249), im Betrage von 0 bis 1500 m (S. 252)

und an den diagonal gerichteten erfolgte durchweg die Verschiebung in dem Sinne, daß durch die Verschiebung die Kette im Streichen verlängert, quer zum Streichen verschmälert wurde.

Ich habe in Fig. 13 die Verteilung dieser Quer- und Diagonalbrüche auf die Kompaßrichtungen graphisch dargestellt. Man sieht, daß sie — mit verschwindenden Ausnahmen — in ihnen von der Normalen zur Streichrichtung ungefähr halbierten rechten Winkel, den „Zugquadranten“, fallen, genau wie die aplitischen und porphyrischen Gänge des Riesengebirges und daß das Maximum nahezu in die Druckrichtung, je eine kleinere Erhebung der Kurve in die linke und rechte Mohrsche Linie fallen. Doch sind hier die Extreme fast vollständig durch Übergänge verbunden. In Übereinstimmung mit den Befunden im Riesengebirge werden also auch hier von den zahllosen möglichen oder vorhandenen Spalten fast nur die im Zugquadranten liegenden verwendet, wobei im einen Falle die Verwendung in einer Auffüllung von unten, im anderen in einer Verschiebung der benachbarten Schollen besteht.

Das räumliche Ergebnis ist in beiden Fällen, daß das Gebirge quer zum Druck (im Streichen)

gedehnt, in der Druckrichtung dagegen entweder verschmälert oder doch zumindest nicht verbreitert wird. Die Bruchbildung, soweit sie an die Faltung zeitlich und mechanisch anschließt, ist also eine Fortsetzung der Faltung mit anderen Mitteln.

Nicht anders, wenn auch selten so vollständig und anschaulich wie im Säntis, liegen die Verhältnisse an zahllosen Stellen des älteren Faltengebirges in Deutschland, im Rheinischen Schiefergebirge, Kellerwald, Harz, Thüringerwald usw. (s. auch Fig. 15 und 20).

Schwieriger liegt der Fall, wenn zwischen Faltung und Bruchbildung ein langer Zeitraum klafft, wie bei dem Beispiel Oberschlesiens, wo die Brüche zwar ebenfalls wunderschöne

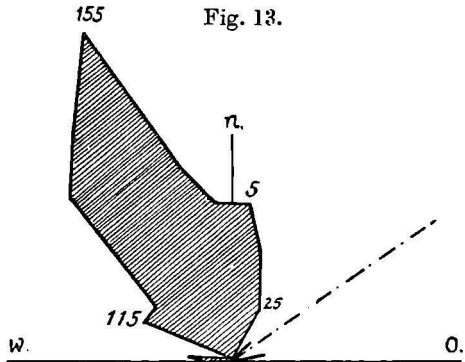


Fig. 13.

Sprungrose des Säntisgebirges. Konstruiert nach der Säntiskarte von Albert Heim. Die Strichpunktlinie gibt das mittlere Streichen der Falten an.

Winkel bilden, die von der Richtung des Faltungsdruckes halbiert werden, wo aber die Faltung im Carbon, die Bruchbildung nach der Trias stattgefunden hat¹⁷⁾.

Bevor wir darauf eingehen und damit das Problem der Schollengebirge überhaupt anschneiden, müssen wir die Bedeutung des für die Bruchbildung wichtigsten Faktors aufzuhellen suchen: Welche Rolle spielt im Verhältnis zum Seitendruck die Schwerkraft oder wie verhalten sich, wie wir kurz sagen wollen, Druck und Last?

Druck und Last.

Kein Akt der Gebirgsbildung verläuft ohne Mitwirkung der Schwerkraft. Doch scheint die Mehrzahl der vulkanischen Vorgänge sich unter Überwindung der Schwerkraft abzuspielen, da die Erdkruste nach dem Vorgang höher (und dicker?) ist als vorher. Am dunkelsten ist die Rolle der Schwerkraft immer noch in dem Bereich, wo sie am stärksten mitwirkt, in den Schollengebirgen.

In unseren Betrachtungen sind wir der Belastung zum ersten Male begegnet, als es sich darum handelte, die schräge Lage der Streckung, des Lagers und der Kopf- und Querfläche, kurz des ganzen Bauquaders im Granit von Strehlen zu erklären. Wir haben diese Besonderheit auf ungleiche Belastung während der Einwirkung des Seitendruckes zurückgeführt. Seither haben uns aber die Erfahrungen an den Mohrschen Linien gelehrt, daß unter irgend einer einseitigen Druckwirkung nicht nur Bewegungsflächen geradeaus, sondern auch solche schräg bis zu 45° seitwärts gerichtete erzeugt werden. Was aber für Seitendruck gilt, muß mutatis mutandis auch für Belastungsdruck gelten; die Entstehung der Querflächen wie der Diagonalfächen muß von der Art des Druckes unabhängig sein. Nehmen wir einen Augenblick an, auf eine unterstützte aber nach den Seiten bewegliche Gesteinsmasse von geringem Zusammenhalt wirkte nur Belastung. Dann müßte die Masse, wenn sie plastisch wäre, wie ein Teig auseinanderfließen, in starrem Material dagegen würden sich schräge Schubflächen bilden und sich die

Masse längs diesen in ähnlicher Weise verschieben. Diese Schubflächen müßten die Lage der technischen Fließfiguren annehmen und also die Richtung der Schwerkraft unter spitzen Winkeln bis zu 45° , einander unter spitzen bis rechten Winkeln schneiden. Geologisch gesprochen: Der betreffende Krusten-

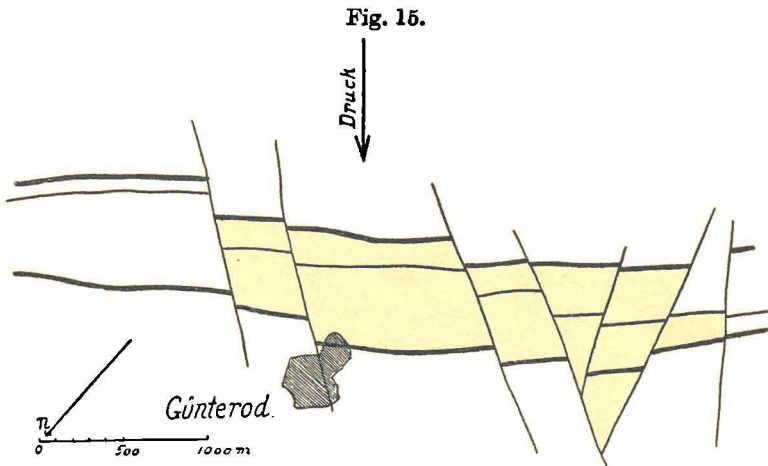
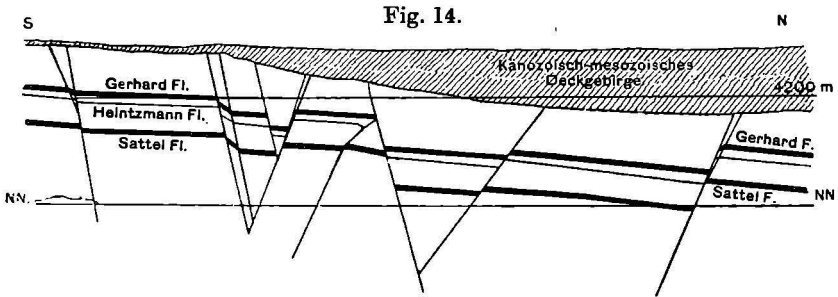


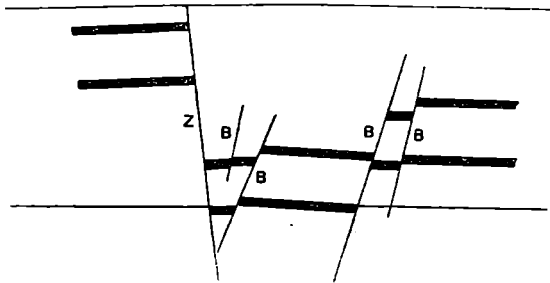
Fig. 14 und 15. Diagonalverschiebungen von Gebirgsschollen in senkrechter Richtung (Profil nach H. Quiring) und in wagerechter Richtung (Karte nach den Aufnahmen von Em. Kayser und H. Lotz auf Blatt Obersched der geologischen Spezialkarte von Preußen).

abschnitt müßte von normalen, mittel- bis steilfallenden Verwerfungen in den verschiedensten Richtungen durchzogen werden. Könnte dagegen die Gesteinsmasse nicht allseits, sondern nur in einer Richtung ausweichen, z. B. nach O und W, wie es unter Druck von S oder N der Fall ist, so würden Verwerfungen nicht in den verschiedensten Richtungen, sondern

nur längs der Nordsüdlinie, also gerichtet aufreißen. Hiermit kommen wir den Verhältnissen im Schollengebirge bereits außerordentlich nahe.

Wir dürfen — mit einer Einschränkung, die die künstliche Ausschaltung horizontaler Bewegungen betrifft — zahlreiche Verwerfungsnetze auffassen als Mohrsche Systeme, für welche die Rolle des Druckes durch die Schwerkraft übernommen wurde. Ein Blick in irgend eines der bekannten Schollengebirgsprofile erläutert dies sofort (Fig. 14). Auf zahlreichen Karten aus dem carbonischen Gebirge z. B. kann man Kartenbild und Profil vertauschen. So ähnlich sind die Wirkungen des Seitendruckes auf den Grundriß den Wirkungen des Belastungsdruckes auf senkrechte Durchschnitte des Bruchnetzes!

Fig. 16.



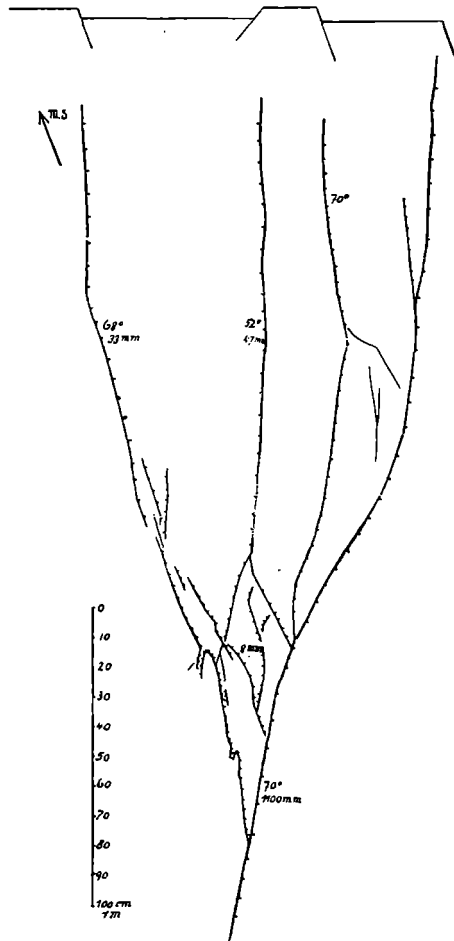
Verschiebung von Schollen an Zerrungs- (Z) und Böschungssprüngen (B). Nach Quiring.

Man hat Schollengebirge vielfach auf eine sozusagen dualistische Weise erklärt (s. bes. H. Quiring, Die Entstehung der Schollengebirge, Abh. d. Deutsch. Geol. Ges. 65, 418—452, 1913). Die Schichttafel sollte durch eine Kraft gezerrt und in große Schollen zerlegt, danach sollten die Schichten durch eine andere Kraft, die Schwerkraft, verschoben und gleichzeitig in kleinere Schollen zerlegt werden (Fig. 16). Diese von Quiring sehr klar und folgerichtig durchgeführte Anschauung trifft zu für Schollen, die verhältnismäßig groß sind und die „durch vertikale Verschiebung auf Sprüngen entstanden sind“, läßt sich dagegen nicht auf schmale Schollen übertragen, deren Gewicht geringer ist als die Zug- oder

Schubfestigkeit des Gesteins, aus dem sie bestehen. Außerdem steht ihr in zahllosen Schollengebirgen die flache Lage der Bewegungs-

streifen, auf die Salomon und Walther neuerdings wieder eindringlich hingewiesen haben¹⁸⁾, entgegen. Nun können aber normale, allen Regeln der Schollengebirge gehorchende Schollen beinahe winzig klein werden. Ich habe z. B. im Buntsandstein der Marburger Gegend vor Jahren ein solches Modell eines Verwerfnetzes vollständig aufmessen können (Fig. 17): Alle Verwerfnungsflächen fielen schräg (unter 50 bis 80°), und jede einzelne kleine Scholle war genau so bewegt worden, daß die Sandsteintafel nach der Bewegung breiter, ihre durchschnittliche Dicke geringer war, als vorher. Da die kleinen Verschiebungen nur innerhalb einer einzigen, kaum 1½ m mächtigen Sandsteintafel aufsetzten, so konnte man den Anteil der Schwerkraft für jede einzelne kleine Scholle aus ihrem Gewicht berechnen. Die Berechnung ist sehr einfach und gibt das fast selbstverständliche Resultat, daß die Schwere dieser schmalen Gesteinskeile um ein min-

Fig. 17.



Grundriß und Profil (oben) eines Verwerfnetzes in einer Buntsandsteinbank bei Marburg. Die Zähne weisen nach den tieferen Schollen. Die Zahlen geben das Einfallen (°) und die Sprunghöhe (mm) der Miniaturverwerfnungen an.

Die Berechnung ist sehr einfach und gibt das fast selbstverständliche Resultat, daß die Schwere dieser schmalen Gesteinskeile um ein min-

destens Zehnfaches zu klein ist, um ihre Loslösung bewirkt zu haben. Es müßte ja sonst von eingebauten Quadern desselben, sehr standfesten Sandsteins jede vorspringende Ecke oder Kante von selbst herabfallen! Die Gesteinstafel ist also nicht unter ihrer eigenen Schwere zerfallen, sondern durch stärkere von außerhalb zutretende Kräfte zerlegt worden; man kann sagen, sie ist nicht zerrissen, sondern zerdrückt worden. Derselbe Druck aber, der die Verwerfungsfläche erzeugte, muß auch die Verschiebung an ihr bewirkt haben, da, wie wir sahen, zwischen der Lage der Fläche und dem Sinne oder der Richtung der Verschiebung ein gesetzmäßiges Verhältnis waltet.

Dieser Druck nun kam zwar zu einem Teil von oben, ging also von der Schwere der überlastenden Massen aus, zum anderen Teil jedoch war er seitlich gerichtet. Dies lehrt außer der parallelen Richtung der Verwerfungen die schräge Lage der Bewegungstreifen.

Die Rutschstreifen nämlich, die bei reinem Belastungsdruck größtenteils in der steilsten Richtung verlaufen müßten, liegen, wie bei den meisten großen Nachbarverwerfungen, zwischen 0 und 45°! Damit kommen wir zum Ausgangspunkt zurück.

Weder Seitendruck noch Last haben für sich allein an der Entstehung der Schollengebirge gearbeitet, sondern in der Natur wirken meistens beide gemeinsam und es resultiert eine schräge Bewegung, die sich unter Umständen an den Rutschflächen unmittelbar ablesen läßt. In der Regel wird eine aus Seitendruck und Belastung resultierende Bewegung schräg nach vorn (in der Bewegungsrichtung) abwärts gerichtet sein. So z. B. bei fast sämtlichen Querverwerfungen des Sämtisgebirges, wo dies, durch Rutschstreifen fixiert, von den Erforschern ausdrücklich hervorgehoben wird. Die Ausweichflächen, die einer solchen Bewegung entsprechen und dienen, kann man sich am einfachsten veranschaulichen, indem man eine längsbeschriebene Postkarte im Winkel von 60 bis 80° quer zu einem Keil knickt. Bei reinem Seitendruck steht die Schneide des Keiles senkrecht und zeigt gegen den Druck, bei reinem Belastungsdruck wagerecht, wobei die Flächen ein Dach bilden. In der Natur dagegen sind offenbar Zwischenstellungen die Regel, wobei die Kante desto

steiler, die den Rutschstreifen entsprechenden Schriftzeilen desto flacher liegen, je mehr die horizontale Komponente die vertikale überwiegt. Im Kartenbild kommt also der wirkliche Öffnungswinkel der Ausweichflächen nicht zum Ausdruck, noch weniger im Profil, sondern stets ein kleinerer. Und zwar ist der Winkel im Profil desto kleiner, im Grundriß desto größer, je mehr die horizontale Komponente vorwaltet und umgekehrt. Entsprechend abgeändert gilt das gleiche von Kombinationen diagonaler Ausweichflächen mit Querflächen. Dieselben Gründe, die oben (S. 30) für das häufige Auftreten von Querflächen unter Seitendruck sprachen, sind ihrer Entstehung durch Belastungsdruck hinderlich. Denn die Bewegung nach vorn, die beim Seitendruck die Hauptrolle spielt, tritt bei dem gegen das Erdinnere gerichteten Belastungsdruck zurück; hier walten divergierende Bewegungen vor: Die Kruste fließt in die Breite. Die Wirkungsweise des Belastungsdruckes kommt dem Druckversuch am Metallzylinder sehr nahe, der ebenfalls nicht geradeaus nach unten, sondern nur nach den Seiten ausweichen kann. Hieraus erklärt sich vielleicht, warum im Profil senkrechte Linien (Verwerfungen) so viel seltener sind als diagonale, während im Grundriß die Querlinien (Blätter) überwiegen. Grundriß und Profil sind eben doch nicht restlos vertauschbar, weil der Widerstand, den Last und Druck in der Bewegungsrichtung finden, ein verschiedener ist.

Am häufigsten müssen somit Querflächen des Druckes mit Diagonalfächen der Belastung kombiniert sein, d. h. es müssen im Schollengebirge schräg fallende Querverwerfungen überwiegen. Hierbei erklärt das Vorwalten der horizontalen Komponente, warum die Verwerfungen meist steiler fallen (einen kleineren Winkel mit der Vertikalen einschließen) als die Mohrschen Linien; als normale Fallwinkel können 65, 70, 75° gelten, so daß der Öffnungswinkel 30, 40, 50°, seltener mehr beträgt. In reinen Fällen und unter sonst gleichen Bedingungen müßte der Fallwinkel von Verwerfungen desto flacher sein, je steiler die Rutschflächen verlaufen¹⁹⁾.

II. Der Aufstieg des Magmas.

Wir haben unsere Untersuchungen nun so weit gefördert, daß wir mit einem Vorrat an Erfahrungen und Methoden zum Ausgangspunkt zurückkehren können. Werfen wir jetzt zum zweiten Male die Frage auf: Wie gelangen vulkanische Stoffe aus der Erdtiefe in die Kruste und an die Oberfläche?, so ist zu ihrer Lösung zweierlei gewonnen.

Erstens: Die Frage: Steht das Magma unter eigenem oder unter fremdem Druck, steigt es, oder wird es gepreßt?, wurde im zweiten Sinne, also zugunsten einer tektonischen Auffassung und eines passiven Vulkanismus beantwortet. Und zwar konnte der Wirkungsbereich des gleichzeitigen tektonischen Druckes für die deutlich gepreßten, gneisartigen Massive gesichert und auf die scheinbar „drucklosen“, weil „richtungslos-körnigen“, welche die Hauptmenge aller Massive ausmachen, ausgedehnt werden.

Zweitens: Es haben sich Mittel gefunden, nicht nur das Vorhandensein, sondern auch die Wirkungsweise, vor allem die Richtung des tektonischen Druckes für jeden einzelnen Fall genau festzustellen. Denn als eine der wichtigsten Wirkungen des Druckes auf den erstarrenden Granit wurde Erzeugung einer gerichteten Teilbarkeit, sowie die Herstellung bestimmt gerichteter Klüfte und ihre Erweiterung zu Spalten erkannt.

Es gilt nun, diese Erfahrungen zu verwenden und zu erproben gegenüber der geologischen Hauptfrage: Wie gelangt das Magma aus der Tiefe nach oben? Das heißt also, wir haben die am fertigen Massiv entwickelte Methode zu übertragen auf das Werdende.

Aus dem Druck gilt es, das Aufsteigen des Magmas und seinen Eintritt in den Erstarrungsraum zu erklären. Die Form und Umgrenzung der Massive ist aus den Spalt-, Quer- und Diagonalfächchen des Bauquaders, der Raum selbst endlich aus dem Begriff einer Querdehnung im weitesten Sinne (nach oben und nach den Seiten) abzuleiten.

Bevor wir (in Abschnitt 3, S. 49) an diese schwierigere Aufgabe herantreten, müssen wir einige zeitlich vorausgehende Vorgänge ins Auge fassen. Ist es doch für den Ablauf der Massivbildung entscheidend, ob ihre Umgebung vorwiegend plastisch reagiert (in großer Tiefe und bei nachgiebigen Sedimenten) oder vorwiegend spröde (in geringer Tiefe und im Gneisgebirge). Da nun fast jede Massivbildung entweder in größerer Tiefe oder in unvergneisten Sedimenten beginnt oder beides, so steht am Anfang fast ausnahmslos eine Art der Raumbildung, bei der die Umgebung nachgibt und also den andrängenden Massen und damit auch der theoretischen Erklärung keine besonderen Schwierigkeiten bereitet (konkordante Intrusion im Anschluß an Faltung und Überfaltung). Erst nachdem durch eine solche Vorarbeit das Gebirge von Granit durchtränkt und verfestigt, der Weg gewissermaßen verbaut und zudem der Vorteil einer plastischen Tiefenzone vielfach verloren ist, beginnt die schwierigere Arbeit einer diskordanten Intrusion im Anschluß an Brüche.

Wir werden also dem natürlichen Gang der Ereignisse zunächst zu folgen haben²⁰⁾.

1. Intrusion und Faltung.

Am nächsten verwandt den vulkanischen Vorgängen ist die Gebirgsbildung mit dem verhältnismäßig biegsamen und verschiebbaren Material geschichteter Sedimente: Die Faltung. Sie ist es zugleich, mit der die Entwicklungsreihe der Gebirge anhebt. Schichtflächen, hervorgegangen aus einem zeitlichen Wechsel der Absatzbedingungen, wirken als Orte geringsten Widerstandes. Längs den Schichtflächen spielen jene kleinsten Verschiebungen, die einer im ganzen noch so dicken Gesteinstafel gestatten, dem Seitendruck ohne Bruch nachzugeben und sich in Wellenberge und Wellentäler zu legen, die wir Falten nennen. Mit diesen parallelen Ausgleichsbewegungen gehen ungeordnete Wanderungen kleinster Teilchen Hand in Hand, die dahin führen, Material von Orten größeren Druckes weg und nach Orten geringeren Druckes hinzuführen. Hierdurch ist das Schicksal zutretenden Magmas in einfacher

Weise bestimmt. Denn je plastischer das Gestein, desto leichter und ausgiebiger gehorcht es diesen Antrieben. So sehen wir, wie zwischen Kalkbänken schon mittelfeste Tonlagen, wie zwischen Anhydritflözchen Steinsalzmassen aus den Falten-schenkeln auswandern und sich in den Umbiegungsstellen sammeln. In großem Maßstabe führt diese mechanische Differenzierung des Materials dazu, daß sich Faltungsknäuel, aus Salz und Tonmassen gemischt, unter dem Schutze eines Kalksteingewölbes anstauen können, während die tieferen Schichten von der Faltung ganz verschont bleiben (Schweizer Jura, Profil des Hauensteinbasistunnels). Gerät nun Magma in den Bereich der Faltung, so wird es als hochplastisches Material verwendet und

1. längs den Schichtflächen,
 2. vorzugsweise an den Umbiegungsstellen
- angeordnet.

In kleinem Maßstab bilden sich auf diesem Wege mond-förmige Zwickelfüllungen, die Harker entdeckt und Phakolithen genannt hat²¹). An Stelle des Magmas können an solchen Stellen auch Mineralien aus Lösung abgesetzt werden; dem Bergbau sind sie als Sattelgänge (saddle reefs) bekannt. In breiteren Gewölben können sich auf grundsätzlich gleiche Weise sehr ansehnliche Schmelzmassen sammeln und erstarren. Kein Zweifel, daß eine große Zahl von sogenannten Lakolithen, die nach der Auffassung ihrer Entdecker mit gebirgsbildenden Vorgängen im Zusammenhang stehen, hierhin gehören. Man wird sich ihre Bildungsweise so vorzustellen haben, daß eine geeignete Krustenschicht von der nächst tieferen abgehoben und selbständig aufgefaltet, daß Magma eingepreßt wird und dies von sich aus diesem Vorgang zu Hilfe kommt.

So erklärt sich aber auch die aus einer Reihe von Beispielen bekannte Stellung granitischer Massive im Kern echter tektonischer Sättel. Barrois hat in der Bretagne eine ganze Anzahl Granitmassive auf den Sattellinien der armorikanischen Falten nachgewiesen. In den Anden hat G. Steinmann ähnliches im senkrechten, durch Tausende von Metern

hinabreichenden Schnitt gesehen und dargestellt²²⁾. Andere Beispiele sind aus England, den Pyrenäen, den Alpen bekannt. Ich habe an mehreren Stellen Südafrikas das gleiche vermutet; hier kommen Granite vielleicht auch als Muldenfüllungen vor, was naturgemäß seltener sein wird, da die Mulde nicht, wie der Sattel, nach dem Ursprungsort des Magmas geöffnet ist.

Geht die Faltung weiter, so daß Sattel und Mulde immer steiler gestellt und schließlich zusammengeklappt werden, so verwischen sich natürlich auch in den mitgefalteten Schmelzmassen die scharfen Grenzen und Formen. Man kann dann Bilder erhalten, wie am Nordrande des Riesengebirges²³⁾, im alten Granit bei Strehlen i. Schl. usw., wo die Sedimente — natürlich in hochgradig umgewandeltem Zustand — parallele Bänder im Granit bilden, der seinerseits durch den Druck zu Gneis geworden ist.

Wir streifen an dieser Stelle das Gneisproblem. Gneis ist bekanntlich ein Konvergenzbegriff. Zahlreiche verschiedene Gesteine — Sedimente und Eruptiva — können durch fortschreitende Umwandlung letzten Endes zu Gneis werden. Uns beschäftigen hier nur diejenigen Gneise, die aus Granit und seinen Verwandten hervorgegangen sind. Was den Granit zu Gneis macht, ist Druck. In gewissen Fällen wird an Belastungsdruck gedacht, doch ist die Zahl dieser Gneise im Abnehmen begriffen. In einer stattlichen Anzahl von Beispielen dagegen ist Gneis ein Granit, der starken oder lang dauernden Seitendruck ausgehalten hat und diesem Seitendruck ausweichen konnte. Schwer zu unterscheiden ist oft, ob der Druck nach oder während der Erstarrung gewirkt hat. Kein Zweifel, daß Druck, der vor und während der Erstarrung einsetzte, nach der Erstarrung weiter wirken und also seine jüngeren andersartigen Spuren den älteren überschreiben kann. Beim unvergneisten, sogenannten richtungslos-körnigen Granit erzeugte der Seitendruck die Spaltfläche (*S*). Es scheint, daß diese Fläche *S*, die sich schon dort durch Schieferigkeit, parallele Risse, leichte Teilbarkeit, Neigung zur Plattenbildung usw. auszeichnet, bei gesteigerten Bedingungen zur Schieferungsfläche des Granitgneises wird.

Welches sind diese gesteigerten Bedingungen? Stärkerer Druck, länger andauernder Druck, höhere Plastizität, höhere Temperatur, länger andauernde Verschiebbarkeit der Teilchen?

Wir wissen heute nur, daß diese gesteigerten Bedingungen in einer größeren Tiefe verwirklicht waren und daß vielleicht derselbe Druck, der oben den rasch erstarrenden Granit nur streckt oder „fasert“ und den erstarrten in Schollen bricht und zusammenschiebt, in größerer Tiefe die Schmelze langsam und ruhig zu Gneis zusammenzudrücken vermag.

Für die Raumfrage ist wichtig, daß im Niveau der Gneisbildung die Schmelze sich sehr innig mit dem durchwärmten Nebengestein zu mischen und daß sie in weitgehendem Maße dieses aufzuschmelzen vermag.

Wir kehren zunächst zu dem Verhältnis von Faltung und Intrusion zurück und wollen, bevor wir unsere Anschauungen auf die schwierige Sonderform der Überfaltung übertragen, versuchen, ihnen eine festere Grundlage zu geben. Dies kann nur geschehen an Massiven, bei denen außer der Oberseite und dem Kern auch die Unterlage und der Zufuhrweg zugänglich sind. Diese Forderung wird natürlich sehr selten erfüllt sein, da die Abtragung zumeist den Oberbau längst entfernt hat, ehe der Unterbau frei wird.

Wir wollen uns daher an Massive wenden, in denen Oberlage, Kern und Unterlage nicht über, sondern sozusagen nebeneinander liegen, so daß sie im selben Aufschlußniveau bequem studiert werden können. Ich habe solche, anderswo noch nicht bekannten Gebilde in Schlesien in schöner und reicher Entwicklung kennen gelernt und bitte den Leser, mir zu einer durch die Wichtigkeit des Gesamtproblems gerechtfertigten Einzeluntersuchung zu folgen.

2. Eine neue Intrusionsform.

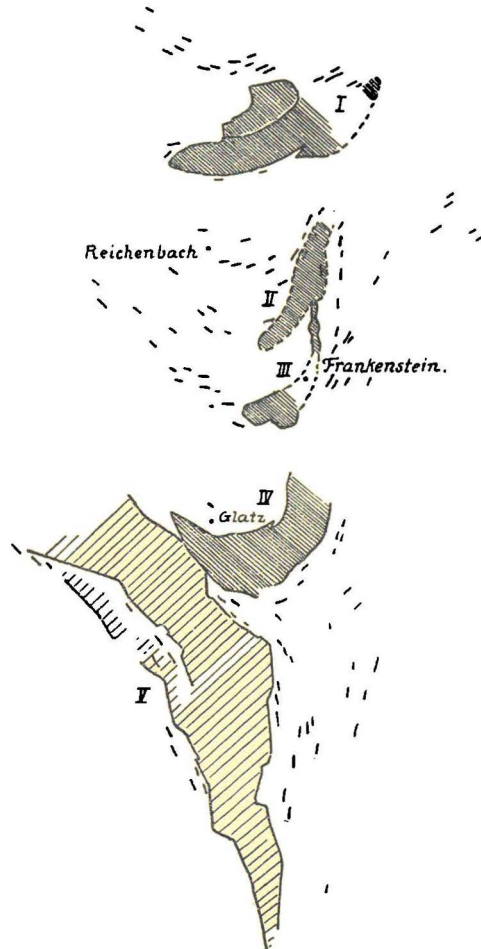
[Mit Beobachtungen von Erich Bederke²⁴].

Was wir brauchen, ist also ein Massiv, das gewissermaßen „auf der hohen Kante“ steht. Das „Dach“ wird zur einen, die „Sohle“ zur anderen Wand. Die Zufuhr erfolgt nicht durch die Sohle, sondern aus dem in die Tiefe tauchenden

Ende. Diese Voraussetzungen kommen zustande, wenn Schichtgesteine in steile Falten gelegt und diese Falten im Streichen umgebogen werden, und wenn Schmelzmassen in die Umbiegungsstelle eindringen können. Diese Bedingungen sind in großartiger Weise in Schlesien verwirklicht durch die Struktur des alten, in den Sudeten und ihrem Vorlande versteckten Faltengebirges. Seine Streichlinien nämlich, in Niederschlesien noch ziemlich geschlossen nach O und SO ziehend, treten je weiter nach O desto breiter auseinander, umschließlich in eine nordöstliche bis nördliche Richtung, die „ostsudetische“, einzuschwenken. Diese Drehung geht im N von SO durch O und NO, also „linksherum“ (gegen den Uhrzeiger) und durch fast 135° , im S dagegen über SSO auf dem kürzeren Wege — kaum durch 45° — nach S. Der Krümmungsradius beträgt hier 50 bis 80, im N nur 10 bis 12, stellenweise nur 5 km (Fig. 18).

Die Zone der Umbiegung zieht, 10 bis

Fig. 18.

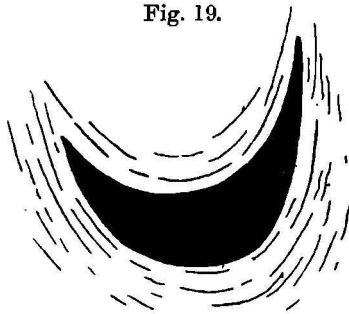


Die plutonischen und tektonischen Einheiten der Nord-südzone in Schlesien (Grenze von Ost- und Westsudeten). Kleine Striche geben das Streichen des Faltengebirges an. Eng schraffiert: Massive; I. Zobtengruppe; II. Syenit von Nimptsch; III. Gabbro-Serpentinstöcke von Frankenstein; IV. Syenit von Glatz-Reichenstein. Weit schraffiert: V. Der Neißegraben.

15 km breit, aus der Gegend von Breslau an dem Meridian 34° 30' entlang, über 120 km durch den Glatzer Kessel nach S. Auf der Karte erscheint sie als eine Folge enger, nach N geöffneter Bögen, denen sich weiter südlich, im Gebiete des Neißegrabens, ein flacherer umgekehrter Bogen anlehnt.

Harmonisch eingefügt in den Bau dieser Zone finden wir vier plutonische Massive: Die Zobtengruppe (I), den Syenit von Nimptsch (II), die Gabbro-Serpentinstöcke von Frankenstein (III) und den Syenit von Glatz-Reichenstein (IV), und außerdem, für die Analogie zur Gebirgsbildung besonders glücklich, eine tektonische Einheit, den Neißegraben (V)^{24a}.

Allen ist ein sichelförmiger Grundriß gemeinsam. Bei den Massiven öffnet sich die Sichel nach NW, so daß das eine Horn nach W in die Streichrichtung der Westsudeten, das andere nach N oder NO in die Streichrichtung der Ostsudeten zeigt und die breiteste Stelle, der „Stamm“ der Sichel, in der Umbiegungszone gelegen ist. Fast überall schmiegt sich das Nebengestein gleichförmig (konkordant) an die Ränder und eine innere Streckung oder Flaserung der Füllmasse geht der Umbiegung parallel. Zumeist



Grundrißschema der Bildung der Einheiten auf Fig. 18 durch Aufklaffen sichelförmiger Hohlräume in einer tektonischen Umbiegungszone.

ist das Nebengestein auf der Außen- und Innenseite verschieden, so daß die Intrusion längs einer wichtigen Gesteinsgrenze erfolgt ist.

Auf welche Weise für eine solche Intrusion der Raum gebildet wurde, erläutert ein einfacher Versuch (Fig. 19). Stellt man ein ungebundenes Buch mit einer Schmalseite auf den Tisch und versucht es um eine senkrechte Achse zu biegen, so genügen geringe Schwankungen im Druck der Hand oder im Widerstand der Blätter, besonders aber das Zusammenstoßen dickerer und dünnerer, steiferer und weicherer Lagen, um diese zum Klaffen zu bringen und längs der Biegestelle Hohlräume von sichelförmigem Grundriß zu erzeugen. Es liegt

sehr nahe anzunehmen, daß auch die vorliegenden Massive mit Hilfe ähnlicher gleichzeitiger Bewegungen zwischen den Schiefen, Gneisen und Glimmerschiefen der Nachbarschaft ihren Platz gefunden haben. Diese Annahme wird dadurch zur Gewißheit, daß sich beweisen läßt, daß die Füllung ebenso alt ist wie gewisse Bewegungen ihres Rahmens²⁵).

In der vollkommenen Ausbildung des Versuches würde eine solche Intrusivmasse senkrecht in die Tiefe setzen und bei gleichbleibendem Querschnitt die untere Grenze der Bewegung bzw. den Magmenherd erreichen. Den bekannten Intrusionstypen läßt sich ein so geformtes Gebilde nicht unterordnen; Batholithe sind größer, diskordant, weniger abhängig von der Struktur der Kruste, verbreitern sich nach unten; Lakkolithen trennt vom Magmenherde ein abgesetzter engerer Kanal, während hier Weg und Ziel zusammenfallen²⁶).

Immerhin dürfen wir unsere Erfahrungen an diesem günstig gelägerten Beispiel gerade für die Erklärung der gewöhnlichen Lakkolithen nutzbar machen. Denn hier liegen Dach und Sohle in gleichem Niveau; das Dach ist Außen-, die Sohle Innenwand der Sichel geworden. Der Druck läßt sich infolgedessen Schritt für Schritt verfolgen. Er kam anscheinend hauptsächlich von O, da die rechten Hörner am stärksten gepreßt, oft sogar von O überschoben sind. Er wirkte vor dem Eintritt der Schmelze, indem er ihr den Raum schuf, während ihrer Erstarrung, indem er ihre Minerale und Einschlüsse richtete, nachher, indem er erstarrte Teile zerbrach und verschob. Man kann den Mechanismus eines solchen Lakkolithen also ganz eng anlehnen an tektonische Beispiele. Ein solches bildet:

Der Neißegraben. Denn die Sichelstöcke liegen nur innerhalb der Zone scharfer Linksschwenkung. Weiter südlich scheinen sie, soweit der Neißegraben den Untergrund freiläßt, zunächst zu fehlen. Ihre Stelle vertritt der Neißegraben selbst. Ich halte diesen großen tektonischen Schollen-einbruch für ein jüngeres tektonisches Gegenstück zu den älteren plutonischen Füllungen der Schwenkungszone. Seine Form ist ebenfalls die Sichel, jedoch flacher und spiegelbildlich umgedreht, ebenso wie der Rahmen.

Als Grabensenkung füllt er ebenfalls einen Hohlraum, jedoch von oben her, so daß kein juveniles Material verwandt wird. Breite und Sprunghöhe als Maße der Leistung, sind auch hier am größten in der Mitte, verschwächen sich nach beiden Hörnern. Man kann also zusammenfassend sagen, daß die Teilbewegungen der großen Schwenkung im schärfer gekrümmten Nordabschnitt durch die wirksamere Zufuhr neuen Materials aus der Tiefe — „plutonisch“ — kompensiert wurden, während in dem schwächer bewegten Südabschnitt die mildere tektonische Lösung — Verwendung schon vorhandenen Materials — eingeschlagen wird.

Intrusion und Überfaltung.

Erst in den allerletzten Jahren ist man darauf aufmerksam geworden, daß vielleicht auch von jener höchst gesteigerten Form der Faltung, die den Sattelkopf in der Druckrichtung umklappt und schief oder wagerecht nach vorn wälzt, Schmelzmassen mitgenommen und verarbeitet werden können. Wenigstens verstehe ich so Kossmat²⁷⁾, wenn er die flachliegenden Granitgneise des Erzgebirges für Schmelzmassen hält, die von der Faltung ergriffen und im Entstehen umgeformt worden sind. Ich bin um so geneigter, an diese Möglichkeit zu glauben, als ich unbeeinflußt durch diese Arbeit in Schlesien ähnliches beobachtet zu haben glaube²⁸⁾. Sogar für das klassische Faltengebiet in Europa, die Alpen, ist eine ähnliche Auffassung versuchsweise geäußert worden: Nach Klemm sollen die liegenden Gneisfalten, die der Simplontunnel durchschneidet, nicht aus verfestigten älteren Graniten und Gneisen, sondern aus mit der Faltung eingepreßten Schmelzmassen geformt worden sein, eine Auffassung, der jedoch, so bedeutungsvoll sie für die gesamte Alpenfaltung wäre, heftig widersprochen worden ist.

Durch die Annahme überfalteter Intrusionen wird ein beinahe liebgewordenes Bild aus unseren Lehrbüchern verschwinden, die „Gneisgranitkuppel“, mit der man das geologische Bild des Erzgebirges, der Ostsudeten usw. schmückte. Der Granitgneis sollte die Erdschale zu riesenhaften Kuppeln aufblähen, aus denen er selbst als runder Kern durch die Ab-

tragung herausgeschält wurde. Aber ebenso wie in den Alpen an Stelle einer symmetrischen Auftreibung aus der Mitte Überfaltung von einer Seite getreten ist, so wird sich vielleicht auch hier der scheinbar einfache Schalenbau als ein hochkompliziertes Gewebe entpuppen²⁹⁾. Vielleicht ergibt sich dann eine Möglichkeit, mit der chemischen Gesteinsanalyse der Frage nach den Wurzeln von Überfaltungsdecken näher zu treten. Wenn nämlich von der Faltung gleichzeitige granitische Schmelzen mitverfrachtet werden, so sind an deren Ursprungsort unter Umständen gleichzeitige oder nachdringende Schmelzen von ähnlicher Zusammensetzung zu erwarten. Versuchsweise habe ich diese Methode in Schlesien angewandt.

Der Stillstand der Faltung.

So leicht wie die flüssige Schmelze, so schwer fügt sich dem Druck der feste Granit. Da nun die Erkaltung nach der Intrusion den Übergang vom flüssigen zum festen Zustand verhältnismäßig rasch herbeiführt, so bedeutet die Hereinziehung von Granit in den Faltungsvorgang, daß dieser sich sozusagen selbst den Weg verlegt. Kein Wunder also, wenn von zahlreichen Granitmassiven berichtet wird, daß sie erst in der letzten Phase der Faltung ihren Platz eingenommen haben³⁰⁾: die Faltung, die ohne den Granit noch weiter hätte andauern können, ist durch den Granit zum Stillstand gebracht worden. Nicht so der Druck. Der Druck wirkt weiter und trachtet die Kruste in einer Richtung zusammenzudrücken, in der darauf senkrechten zu strecken.

Wir haben die Wirkung des Druckes auf ein erstarrtes reines Faltengebirge kennen gelernt. Was aber geschieht, wenn nach der Erstarrung eines Massivs in der Tiefe noch weitere Schmelzmassen flüssig bleiben und der Gebirgsbildung zur Verfügung stehen?

3. Intrusion im Anschluß an Bruchbildung.

Wir betreten hier das schwierigste und wichtigste Gebiet, da hier für die Tiefenmassive das eigentliche Raumproblem beginnt und von der gleichen Stelle die Spaltenfrage der Vulkane ausgeht.

Historisches.

Man hat im Laufe der letzten Jahrzehnte eine immer größere Anzahl von Granitmassiven kennen gelernt, die nicht parallel und harmonisch im Faltenbau liegen und sich also auch nicht als Füllungen von während der Faltung geschaffenen Hohlräumen deuten lassen. Vielmehr durchschneidet ihr Umriß den älteren Bau scheinbar beliebig, schonungslos, „diskordant“, und der neue Stoff tritt an Stelle älterer Vorläufer, deren Verbleib nicht ohne weiteres klar ist. Unter besonders glücklichen Aufschlußbedingungen, wie sie die Trockengebiete der Erde darbieten³¹⁾, kann man den Granit wie in einem Käfig von Resten der ursprünglichen Schale umschlossen sehen. Für die älteren Gesteine, deren Platz er einnimmt, bleibt hier kein Ausweg nach den Seiten, keiner nach oben, sondern nur nach unten in den Granit hinein. In solchen Fällen ist die Tatsache, daß der Granit mit Teilen der Schale den „Platz getauscht“ hat, mit Händen zu greifen und unausweichlich. Offen bleibt nur die Frage, ob das Nebengestein zuvor verflüssigt (eingeschmolzen), oder ob es nur mechanisch zerkleinert und in Form von Blöcken oder Schollen ausgetauscht worden ist. Überall, wo man solchen diskordanten Granitmassiven begegnete, neigte man zunächst der ersten Deutung, also einer „Aufschmelzungstheorie“, zu. Besonders französische Forscher sind dafür eingetreten; in Deutschland haben zuerst die prachtvollen Granitfenster im sächsischen Erzgebirge zu solchen Deutungen verleitet³²⁾. Die weitreichende, mit Annäherung an die Granitmassen immer stärker werdende Umwandlung des Nebengesteins — sein „Kontakthof“ — galt gewissermaßen als Vorbereitung und Überleitung zur Einschmelzung. Aber gerade eine schärfere Untersuchung des Nebengesteins und seiner Berührungsfläche mit dem Granit nötigte später dazu, die Werkstatt der Einschmelzung von hier fort und in eine größere Tiefe zu verlegen und den Platztausch zunächst als einen mechanischen Vorgang anzusehen. Dieser Wandel könnte nicht deutlicher zum Ausdruck kommen, als in einem Vergleich der ersten und zweiten Auflage der Spezialkarten des Erzgebirges³³⁾. An Stelle eines glatten Schmelzrandes ist

15 Jahre später ein Bruchrand getreten, der durch Zerbröckeln der Schale entsteht und von Bruchstücken derselben gesäumt wird. Solche Schollen, als Produkte einer mechanischen Mischung von Granitschmelze und Nebengestein sind seither in zahlreichen Massiven in immer größerer Zahl bekannt geworden, durchweg fand man sie scharfkantig und eckig begrenzt, wie die Wandfläche, von der sie losgebrochen; und die Annahme, daß der Granit sich durch Platztausch an die Stelle von Teilen seiner Schale setzen könne, war zur Beobachtungstatsache geworden. Gewaltige Blöcke hat z. B. Salomon im Adamellomassiv, fern von ihrem Ursprungsort, gefunden³⁴), kleinere Beispiele schildert E. Suess, in fast technisch exakter Weise konnte Barrell in den Grubenaufschlüssen von Marysville in Montana große, scharfkantige Krustenblöcke in der Randzone des Massivs aufmessen und darstellen. In neuester Zeit hat W. Penck über südamerikanische Verhältnisse wertvolle Angaben gemacht (s. die Anm. 61, S. 93), während ich aus Südafrika und aus Schlesien in drei größeren Abhandlungen systematisch über Schollen in Granitmassiven und ihre Bedeutung für den Mechanismus der Intrusion berichtet habe (Anm. 7, 1911, 1919 und 1920).

Die Frage ist nun: Was leisten solche Schollen für die Raumbildung des Granits? Kann wirklich die Schmelze allein dadurch hoch kommen, daß fortdauernd Teile ihres Daches einbrechen und als ein „ständiger Regen“ in ihr versinken?

Folgerichtig und systematisch ist Daly dieser Frage nahe getreten und zu einem rückhaltlosen Ja gekommen³⁵). Nach ihm genügt das etwas höhere Gewicht der kalten Krustengesteine, um sie in der warmen gasreichen Schmelze versinken zu lassen. Als Ursache der Massivbildung erscheint dann sinngemäß der Auftrieb, den die Schmelze eben durch ihr geringeres Gewicht erfährt. Er ist es, der ihr eine aktive Kraft verleiht, mit der sie, wie der Bergmann mit der Picke, über ihrem Haupte das Gebirge zerbricht und zum Einsturz bringt („Übersichbrechen“, „Over head stoping“, Stoping hypothesis).

Ich habe schon oben einige spezielle Einwände gegen diese Hypothese vorgebracht. Am wichtigsten erscheint mir aber

der allgemeine Widerspruch, der darin liegt, daß die Aufstimmungshypothese mittels einer allgemeinen, ständig und überall in der Tiefe wirksamen Kraft eine Erscheinung erklären will, die zeitlich und räumlich begrenzt ist! Warum arbeitet sich nicht beständig im Laufe der ganzen Erdgeschichte an geeigneter Stelle das Magma empor? Warum ist vielmehr dies Ereignis immer nur an bestimmten Stellen und vor allem nur zu bestimmten Zeiten, nämlich in den Perioden der Gebirgsbildung eingetreten? Mit diesem Widerspruch bringe ich die weitere Tatsache in Verbindung, daß die gleichzeitige Einwirkung des Seitendruckes auf in Bildung begriffene Massive mit richtungslos körnigem Gestein und diskordanter Umgrenzung bisher übersehen worden ist.

Aus dieser Gegenüberstellung ergibt sich automatisch die Annahme, daß der gleichzeitige Seitendruck derjenige Faktor ist, der die Widersprüche der aktiven Aufstimmungstheorie zu heben vermag.

Beziehung zum Seitendruck.

Dieser Annahme stand die diskordante Umgrenzung der großen Massive im Wege, solange man sie als Beweis für deren nichttektonische Stellung ansehen mußte. Ein geologisches Gebilde, das eine ältere Faltenstruktur quer oder schief durchschnitt, sollte von deren Bedingungen unabhängig sein; man sprach demgemäß von „posttektonischen“ Massiven³⁸⁾.

Nachdem es nunmehr gelungen ist, die diskordante Stellung dieser Massive mit einer anderen, einer diskordanten Art tektonischer Bewegungen, der Bruchbildung, in Parallele zu setzen und im einzelnen auf die Bedingungen derselben, Seitendruck und Belastungsdruck zurückzuführen, fällt jene Voraussetzung weg. Die diskordanten Massive treten zu ihren konkordanten Vorläufern in dieselbe Beziehung wie die Bruchbildung zur Faltung. Sie wurden durch denselben Seitendruck emporgepreßt, wie jene, aber in eine Umgebung eingeordnet, die nicht mehr plastisch, sondern — weil bereits verfestigt oder weil in geringerer Tiefe gelegen — spröde reagierte.

Die Leistung des Seitendruckes für die Bildung diskordanter Massive ist eine mehr als doppelte, da der Druck gleich-

zeitig auf die Schmelze wirkt, die er emporpreßt und auf das Nebengestein, das er zerspaltet, und da diese beiden Wirkungen miteinander, nicht gegeneinander gehen.

Die Wirkung auf die Schmelze ist natürlich grundsätzlich die gleiche wie bei Faltung, da sie unabhängig ist von der Beschaffenheit und Reaktion des Nebengesteins. Im großen betrachtet, wird die nachgiebige Schmelze von Orten höheren nach Orten niederen Druckes ausweichen, d. h. emporsteigen. Zugleich wird sie dadurch genötigt und befähigt, in jedem Augenblick und an jeder Stelle in frei werdende Räume einzutreten, wobei sich der gerichtete Druck nach beliebigen Seiten in ungerichteten verwandeln kann. Daß er nach Anlage und Ursprung gerichtet ist, haben wir daraus geschlossen, daß er von dem Augenblick an, wo der Granit Druck aufzuzeichnen vermag, als solcher in die Erscheinung tritt, sowie daraus, daß gleichzeitig das Nebengestein gerichtetem Drucke unterliegt.

Diese Wirkungen auf Dach und Schale sind es nun, die Ort, Form, Größe der Massive bestimmen und die wir daher noch etwas näher ins Auge fassen müssen.

Die Zerspaltung des Nebengesteins wird, da sie dem eindringenden Granit vorausgeht, durch diesen stark verwischt; doch dürfen wir annehmen, daß sie nach denselben Regeln vor sich geht, wie bei granitfreien Gebirgen oder wie die Zerspaltung des erstarrten Granits selbst. Man findet nämlich die Quer- und Diagonalsprünge normaler tektonischer Gebirge wieder in den die Intrusion überdauernden Spuren der Zerspaltung. Sie erscheinen dort

1. im Umkreis der Granitmassive als die Loslösung von Schollen vorbereitende Gänge;
2. im Verlauf der Grenzfläche selbst und
3. an den in den Granit übergetretenen Schollen.

Der auffallend tektonische Charakter großer Schollen im Granit war es, der mich zum ersten Male dazu führte, nach einer gemeinsamen Ursache tektonischer und plutonischer Schollen zu suchen³⁶). Im Granit von Strehlen in Schlesien liegen, durch riesige Steinbrüche rings entblößt, Schollen von

Hausgröße, die von steil (65 bis 80°) fallenden, fast mathematisch ebenen Flächen von einheitlicher Streichrichtung begrenzt werden. Das heißt also, es liegen hier mitten im Granit Schollen von der Art und Lage, wie sie anderwärts in der Umgebung anderer Schollen oder im Tafelgebirge getroffen werden. Auf die Druckrichtung bezogen, gehören ihre Grenzflächen teils der Querfläche, teils einer linken Diagonale an. In denselben Richtungen, hauptsächlich aber in der letzteren, liegen vor dem Rande des dortigen Massivs auch die zahlreichen Gänge, durch die weitere Schollen abgespalten werden sollten. Eine Zusammenstellung (auf S. 36 der genannten Arbeit) lehrt, daß von den Gängen 95 Proz. NW bis WNW streichen, während von den Schollengrenzen nur noch über $\frac{2}{3}$ ungefähr in die gleiche Richtung fallen. Die geringere Regelmäßigkeit der Schollengrenzen rührt zum Teil von beginnenden Drehungen, zum anderen davon her, daß bei ihrer Loslösung die Grundrichtungen natürlich durch Zwischenstrecken verbunden werden mußten. An einer Scholle (*E*, in der Südecke der Karte, S. 16) ist sogar der Vorgang der Abspaltung selbst festgehalten. Die Scholle wurde von der Erstarrung überrascht, als sie sich in Teilung befand. Der Granit erweitert eine in der Druckrichtung zielende Fuge zum Keil; einen Augenblick später und die Scholle war in zwei schmale lange Querschollen zerspalten.

In anderen Massiven sind Schollen noch kaum in so eingehender Weise geologisch untersucht worden³⁷). Man ist dort vorerst auf die Gänge als vorbereitendes Stadium angewiesen. Von Eruptivgängen sowohl wie von Mineral- und Erzgängen usw., ist ja nun zur Genüge ihre regelmäßige Streichrichtung und ihre Beziehung zu Verwerfungen und Klüften bekannt. Ich erinnere etwa an die vielen hundert parallelen Granitporphyrgänge, die auf den Spezialkarten des Schwarzwaldes wie ein Gitter liegen, an die Gangsysteme des Odenwaldes, des Harzes, des Erzgebirges usw.

Uns bleibt hier nur die Beziehung zur Gebirgsbildung, insbesondere zum Druck festzustellen. Ich will auf Einzel-tatsachen weiter unten zurückkommen, wenn wir die Gänge in ihrer Eigenschaft als Verbindungswege zwischen Massiv und

Vulkan noch einmal zu betrachten haben. Hier dürfen wir das Ergebnis vorausnehmen, daß die überwiegende Mehrzahl der Eruptivgänge unter Seitendruck gebildet und in dem von der mittleren Druckrichtung ungefähr halbierten Zugquadranten gelegen ist.

Zwischen Gangwand und Schollenwand steht als Übergang endlich die Wand des Massivs selbst, insofern als sie vorher einmal Gangwand war und später einmal Schollenwand hätte werden können. Trotzdem sie zahlreichen nachträglichen Umlagerungen unterworfen sein können, zeigen gerade die Massivwände oder Kontakte noch oft eine geordnete tektonische Lage. Natürlich können sie in allen möglichen Richtungen liegen, grundsätzlich werden aber die Spalt- und Querflächen, demnächst die im Zugquadranten liegenden, der Querfläche genäherten Diagonalfächen bevorzugt sein. Im östlichen Riesengebirge z. B. vermitteln solche kurze Diagonalstrecken zwischen den hauptsächlich aus *Q* und *S* zusammengesetzten Kontakten (Fig. 3)³⁹). Der Nordostkontakt des Striegauer Massivs zieht, 50 km lang, fast parallel dem Sudetenrand; ihm laufen nachgranitische Quarzgänge ungefähr parallel, während die Streckung und Spaltfläche des Granits an vielen Stellen mit ihm einen beinahe rechten Winkel bildet. Der Kontakt hat also die Streichrichtung der Querfläche. Sehr kräftig treten Querkontakte auch bei Strehlen hervor, wo sie fast nördlich streichen und die Streichrichtung der vorgranitischen Falten beinahe lotrecht schneiden. Wir können solche Massive, deren Kontaktstrecken überwiegend der Querfläche folgen, und deren Längsachse also in der Hauptdruckrichtung liegt, Quermassive nennen. Erst in wenigen Gebieten ist die Druckrichtung in Graniten genügend bekannt, um sie einer Gruppe zuteilen zu können. Wollte man aber die Druckrichtung aus dem Streichen der vorgranitischen Nebengesteine ableiten, so würde z. B. das Eibenstockmassiv im westlichen Erzgebirge ein hervorragendes Beispiel eines „Quermassivs“ abgeben⁴⁰). Seine Längsachse steht genau senkrecht auf den älteren Falten links und rechts, ebenso mehr als drei Viertel der Umgrenzungslinie. Ebenso streichen die wichtigsten nachgranitischen Störungen und Gänge des Massivs und seiner Umgebung. „Längsmassive“

sind sinngemäß diejenigen, deren Längsachse der *S*- oder Spaltfläche parallel läuft. Ihnen gehört von jüngeren Graniten das Riesengebirge an, während das kleine Brockenmassiv im Harz während seiner langdauernden und phasenreichen Bildung den Charakter gewechselt und an ein Längsmassiv kleine Quermassive angebaut hat. Woran liegt es nun, daß sich die Massen bald mehr in der Druckrichtung, bald mehr senkrecht dazu entwickeln? Hierauf müssen wir noch näher eingehen.

Querdehnung.

Denn durch die Bildung von Fugen in Dach und Wänden der Granitschmelze ist dieser der Weg zwar erleichtert, aber noch nicht geöffnet. Die Frage, um die sich alles dreht, betrifft den Mechanismus, der die Fuge zum Spalt öffnet und dem Magma gestattet, in diesen als Gang einzutreten. Durch zusammenstoßende Gänge ist alsdann die Scholle von selbst gegeben und, sinngemäß vergrößert, muß der gleiche Vorgang die Bildung beliebig großer Massive erklären können. Man hat bisher das Auseinanderweichen der Spaltenwände entweder mit Ausdrücken wie „Zerrung“, „Auflockerung“ usw. auf fremde indirekte Kräfte, zum Teil auf Wirkungen der Schwerkraft zurückschieben oder aber unmittelbar der aktiven Sprengwirkung des Magmas auf beliebige vorhandene Klüfte zuschreiben wollen.

Nun ließ sich aber in der Übertragung der technischen „Querdehnung“ auf die Erdkruste ein Weg finden, die Öffnung der Spalte aus demselben Druck herzuleiten, der die Fuge bildet und das Magma nachpreßt.

Geologische Querdehnung haben wir bisher in sechserlei Weise sich abspielen sehen. 1. Eine Kluft, die in der Druckrichtung liegt, erweitert sich zum Spalt, so daß dieser neuen Stoff aufzunehmen vermag (Fig. 1, 3 u. a.).

2. Liegt der Spalt nahe der Wand eines werdenden Massivs, so kann die trennende Gesteinsplatte durch denselben Vorgang aus ihrem Zusammenhang gelöst und als Scholle ins Massiv aufgenommen werden (Beispiele des Strehleiner Massivs).

3. Noch bis in das Massiv hinein können die Scholle ähnliche Schicksale verfolgen; sie wird in der Druckrichtung gespalten und zerfällt in zwei oder mehrere Querschollen (Karte).

4. Diese Teilstücke werden durch neue, in plastischem Material rascher verlaufende Querdehnung auseinandergezogen zu einer losen, quer zum Druck, parallel zur Streckung orientierten Kette (S. 16).

5. Dieselbe Bewegung teilt sich den Querwänden des Massivs mit und baucht sie tonnenförmig vor (Fig. 3, Ostkontakt des Riesengebirges).

Endlich 6. Im erstarrten Massiv setzt Punkt 1 wieder ein, unterstützt von Diagonalverschiebungen, an denen wenigstens eine Komponente der Querdehnung dient (Fig. 8 u. 9). Von diesen Verfahren dienen 1. und 5. unmittelbar der Raumbildung, indem sie für andringende Schmelzmassen neuen Platz schaffen auf Kosten der Flanken, die nach den Seiten und nach oben ausweichen. Bedeutet doch das Auftreten von 20 zum Druck parallelen Aplitgängen zu je 5 bis 10 cm Mächtigkeit in einem Block von 50 bis 100 m Breite, daß dieser noch im festen Zustande um 1 bis 2 m, d. h. um $\frac{1}{100}$ bis $\frac{1}{25}$ gestreckt wurde. Es gibt eine Reihe von Quermassiven, die man ohne weiteres als solche, quer zum Hauptdruck ausgebauchte oder verbreiterte Gänge auffassen kann. Z. B. wären die schmalen und langen, ungefähr N—S gestreckten Porphy- und Granitstöcke des östlichen Erzgebirges daraufhin zu untersuchen, obwohl offenbar hier in der Nähe der großen Umbiegung die Verhältnisse sehr verwickelt liegen und vielleicht eine starke Ostwestkomponente überdeckend hinzutritt.

Vielleicht gehört sogar das 70 km lange, 20 km breite ost-sudetische Granitmassiv in diese Gruppe, da seine Längsrichtung auf der Streckung und Spaltrichtung bei Strehlen am Nordrande ungefähr senkrecht steht und also in der Druckrichtung liegt. Überraschende Beiträge zu dieser Frage versprechen ferner im Gang befindliche Messungen in dem schmal am Sudetenrand entlang ziehenden Massiv von Striegau-Zobten (s. auch oben S. 55, sowie die Anm. 14).

Dies Massiv zeigt die Querdehnung in ihrer Bedeutung für die plutonische Raumbildung so deutlich, daß ich noch einen Augenblick dabei verweilen möchte. Das Massiv sieht aus wie ein spitzer Keil, der von OSO her zwischen die Streichlinien des älteren Faltengebirges eingetrieben wurde. Die ganz schmale Spitze liegt im WNW; den Hammer bildet am östlichen Ende das ältere Massiv der Zobtengruppe. Es läßt sich nun zeigen, daß der Druck tatsächlich von hier aus kam und ungefähr in der Längsrichtung des Massivs nach NW zielte. Dies beweist schon die Lagerung der älteren Gesteine im SO, die bereits der oben (S. 45) geschilderten Umbiegungszone angehören; das gleiche geht aber noch deutlicher aus der Tatsache hervor, daß innerhalb des Granitmassivs die Streckung von SO nach NW dauernd und deutlich abnimmt. Anscheinend ist also wirklich die Granitschmelze in großem Maßstabe wie ein Keil in die Fugen der Kruste eingetrieben worden. Man kann sogar verfolgen, wie sich der Spalt langsam von SO nach NW öffnete. Denn die Gesteinsfüllung wird in dieser Richtung jünger und die letzten sauersten Nachschübe finden sich in der äußersten Spitze.

Begreiflicherweise ist das Nebengestein längs den in der Druckrichtung laufenden Keilflächen nur unerheblich und auf kurzen Abstand aufgewulstet, während es doch an Kontakten, die senkrecht zum Druck stehen (in Längsmassiven), meist großartig aufgerichtet ist (z. B. im Riesengebirge).

Doch wird in kaum einem dieser Fälle die Raumbildung durch reine Querdehnung allein bestritten werden. Vielmehr wird gleichzeitig im Sinne der Fälle 2, 3 und 4 eine gewisse Menge Krustengestein in den Granit aufgenommen und dadurch für das Massiv weiterer Platz geschaffen. Über die Bedeutung freier Schollenbewegungen für die Raumfrage habe ich in der vorliegenden Arbeit bereits kurz gesprochen (oben S. 51), ausführlicher an anderer Stelle, so daß ich hier nur auf einen Punkt hinweisen möchte: In allen Fällen, wo man nicht weiß, warum und wohin Schollen verschwunden sind, wird man zu prüfen haben, wieweit ein Ausweichen senkrecht zum Druck möglicherweise auch für die Verfrachtung und

den Verbleib von Schollen verantwortlich zu machen ist. Dies ist um so wahrscheinlicher, als mit der Querdehnung nach den Seiten („Seitendehnung“) eine Querdehnung nach oben und unten, also in der Hauptbewegungsrichtung des Magmas und der Scholle verknüpft sein kann.

Hochdehnung.

Eine solche Querdehnung nach oben („Hochdehnung“) spielt als Aufwölbung (engl. Doming) eine bekannte Rolle bei den meisten Längsmassiven. Sie ist hier mit Bruch- und Schollenbildung mannigfach kombiniert.

Die Schmelzmasse hat sich dabei über einer senkrecht zum Druck liegenden Achse, ähnlich wie bei Faltung aufgebaut, ihr Dach und ihre Schale aufgetrieben und zur Seite gedrängt, und das Massiv, das in sein Nebengestein mit tausend kleinen Ecken und Brüchen vordringt, erscheint im großen als einziges, breites und hohes Gewölbe. Ich habe zuerst 1911 im Erongo-gebirge die Verknüpfung eines Platztausches im kleinen mit einer Auftreibung im großen beobachtet und später in der älteren ausgezeichneten Arbeit Barrells ähnliches schärfer begründet wiedergefunden. Barrell berechnet sogar den Betrag des „Doming“ (der domförmigen Auftreibung), und zwar zu 300 bis 1000 m⁴¹). Fast sämtliche bekannten europäischen Massive liefern Beispiele dazu. Hat doch schon Dalmer im Erzgebirge neben der Durchschmelzung eine gewisse Aufwölbung anerkannt. Sehr deutlich ist sie im Riesengebirge, von dessen Kern nach allen Seiten die Schichten der Schale schräg abfallen.

Ich kenne nicht ein einziges Beispiel, wo nicht mit der Schollenbildung im kleinen eine Auftreibung im großen verbunden wäre. Man kann geradezu sagen: Aufwölbung schafft, Schollenbildung erweitert den Raum. Oder, wenn man auf die Umgrenzung blickt: Aufwölbung formt das Massiv, Schollenbildung den Kontakt.

Im Gelände drückt sich dies Verhältnis darin aus, daß der Teil der Erdkruste, in dem das Massiv liegt und an Spalten gegen Austausch von Schollen vorgerückt ist, nach der Massivbildung höher liegt als die Umgebung.

Diese Regel gilt für das Erongogebirge im Hererolande wie für den Eibenstockgranit im Erzgebirge, wo sie schon 1900 Dalmer erkannt, wenn auch anders gedeutet hat. Sie findet im Riesengebirge ebenso wie in dem Granitmassiv von Strehlen ihren Ausdruck in der Tatsache, daß das ganze Massiv den Kern eines Gewölbes bildet, während die Kontakte im einzelnen zerbrochen und von Schollen begleitet sind. Exakten Ausdruck findet diese Verknüpfung in dem Profil Barrels vom Marysville-Batholithen, wo die Hebung der Gesamtmasse teils allmählich, teils an Brüchen vor sich geht. Zahlreiche andere Beispiele ließen sich beibringen.

Man hat eine solche Aufwölbung der Schale gern als sicheren Beweis für die aktive Natur des granitischen Kernes angesehen. Demgegenüber läßt sich, wenn in der Kernmasse Seitendruck herrscht, der Auftrieb auch als eine Umsetzung dieses Seitendruckes nach oben, als eine vertikale Querdehnung oder „Hochdehnung“ auffassen. Denn je nachdem, ob die Belastung oder die Einfassung von den Flanken her stärker ist, muß ja natürlich der plastische Inhalt vor dem Gebirgsdruck bald mehr nach oben (Hochdehnung), bald mehr im Streichen (Seitendehnung), jedesmal aber senkrecht zum Gebirgsdruck auszuweichen trachten. Die Berechtigung dieser Parallele ergibt sich auch aus dem analogen Verhalten beider Richtungen nach der Erstarrung. Liegen die Richtungen geringsten Widerstandes seitwärts im Streichen (bei hoher Belastung), so erfolgt ein Abschieben an steilstehenden Flächen, die im Grundriß diagonal stehen (Fig. 8). Ist jedoch die Belastung geringer als der Gebirgsdruck plus dem Reibungswiderstand, so weichen die Massen nach vorn oben aus; aber die Form der Bewegungskörper ist die gleiche (Schuppen) und die Bewegungsbahnen haben dieselbe Lage zum Druck (Überschiebungen). Diese Überlegungen wurden für tektonische Einheiten schon kurz vorausgenommen bei Betrachtung der Druckversuche (S. 24ff., sowie Anm. 19 und Fig. 24).

Seitendehnung und Hochdehnung wirken also zusammen, um einen Teil des Intrusionsraumes neu zu schaffen, so daß

für den Platzaustausch zwischen Schmelze und Schollen nur eine leichter zu bewältigende Teilaufgabe übrigbleibt.

Verhältnismäßig gering ist infolgedessen auch die Stoffmenge, die durch Austausch aus dem Nebengestein der Schmelze zugeführt wird. Nimmt man hinzu, daß sich diese Vorgänge wahrscheinlich auf eine dünne obere Zone beschränken und darunter durch plastische Vorgänge, in noch größerer Tiefe durch glatte Schmelzung abgelöst werden, so scheinen mir grundsätzliche Schwierigkeiten der batholithischen Massivbildung behoben.

Dicke und Höhe. Eine noch schärfere und klarere Sprache spricht die Tatsache, daß durchweg die Erdkruste nach dem Eindringen des Granits dicker und höher ist als vorher. Dies geht daraus hervor, daß die meisten Massive rasch nach ihrer Bildung der Zerstörung verfallen, abgedeckt und bloßgelegt und ihre Stoffe zum Aufbau von Trümmergestein verwendet worden sind. Deutlicher als irgend etwas anderes lehrt dieser Umstand, daß im ganzen genommen mit der Massivbildung eine Stoffzufuhr und nicht bloß ein Stoffaustausch verbunden war und daß diese Zufuhr vor sich ging nach Art der Gebirgsbildung, die ebenfalls zur Verdickung und Erhöhung der Kruste führt. Jeder Verdickung der Kruste folgt bekanntlich auf dem Fuße eine Heraushebung, nach der Lehre der Isostasie aus demselben Grunde, aus dem eine dicke Eisscholle höher aus dem Wasser herausragt, als eine dünne. Es scheint nun, daß diese Heraushebung bei den unter starker Zusammenfaltung gebildeten, meist gneisartigen Massiven viel stärker war, als bei den wesentlich unter Schollenschiebungen entstandenen. Nur so erklärt sich die oft wiederkehrende Tatsache, daß das in geringerer Erdtiefe erstarrte jüngere Massiv nicht bis in die obersten Teile seines älteren, konkordanten, in viel größerer Tiefe erstarrten Vorläufers hinaufreicht: Die Erdoberfläche muß zwischen der ersten und zweiten Granitförderung tief hinabgerückt und dem Herde gewissermaßen entgegengekommen sein.

Eine aus Bruchbildung im kleinen und Aufwölbung im großen gemischte Raumbildung bietet den großen Vorteil, daß sie dem Platztausch nur einen kleinen Teil der Arbeit überläßt, während viel Raum unmittelbar der Erdoberfläche ab-

gewonnen wird. Nur wenig fremdes Gestein braucht infolgedessen vom Schmelzfluß unschädlich gemacht und „verdaut“, nur geringe Anforderungen an seine Lösungs- und Heizkraft gestellt zu werden.

Rückblick.

Wir haben nun die Schmelzmasse bereits durch eine lange Strecke ihres Aufmarschweges und durch verschiedene geologische Begleitumstände hindurch verfolgt. Unter normalen und günstigen Bildungsverhältnissen, sowie bei glücklicher Aufschlußlage läßt sich der Hergang in zwei große und eine Reihe kleinerer Etappen zerlegen:

Den Anfang macht Faltung, der ihrerseits noch eine Zeit der Gesteinsbildung vorausgeht. Wie jeden großen tektonischen Zyklus, so leitet auch diesen Zyklus einer gemischten Gebirgsbildung eine Vorbereitungszeit ein, in der die Erdkruste und -oberfläche da sinkt, wo sie später steigen soll und wo über ihr Sedimente sich besonders hoch da anhäufen, wo sie später besonders stark umgewandelt und besonders tief zerstört und abgetragen werden sollen. Die tiefste Stelle, bis zu der der Boden dieser Sammelmulde (Geosynklinale) hinabgedrückt wird — in den Alpen nach Tausenden, anderwärts nach Zehntausenden von Metern zählend —, ist vielleicht, nach Ansicht französischer Forscher ⁴²⁾, der Punkt, von dem aus die granitischen Schmelzen ihren Weg nach oben anzutreten haben. Es geschieht, indem die neugebildeten Schichten sich in Falten legen und die Schmelze in ihre Bewegung hereinziehen, oder, indem umgekehrt die Schmelze den Antrieb hergibt.

Solange dies in genügender Tiefe geschieht, kann die Schmelze plastisch und eine vorzeitige Erstarrung hintan gehalten werden. Erst mit fortschreitender Annäherung an die Erdoberfläche sinkt allmählich die Temperatur unter das Erstarrungsintervall und die Schmelze erstarrt, mit ihr das gesamte, von ihr innig durchtränkte, durchwachsene Gebirge. Damit ist ein erster Abschnitt, eine erste geologische Generation des gemischten Zyklus zum Abschluß gekommen. Tiefere Teile bleiben heiß und flüssig, auch wenn nun, im Gefolge der Aufstauung hochragender Gebirge, an der Oberfläche die Zer-

störung und Abtragung einsetzt und den Abstand zwischen Herd und Atmosphäre verringert, ja möglicherweise bereits bis zu den erkalteten Produkten der ersten Generation herabdringt. Die Bewegungen gehen weiter, leben neu auf. Aber den erhärteten Bau vermögen sie nicht weiter zu falten. Statt dessen wird er zerbrochen, von einem Netz von Spalten durchzogen, in Schollen zerlegt und die flüssig gebliebenen Schmelzen werden auf diesen neuen Wegen weiter nach oben gepreßt. Indem auch sie sich zu Massiven ausdehnen oder zusammenschließen und dann erstarren, kommt eine zweite Generation zum Abschluß. Aber nur die Bewegung erstarrt, der Druck dauert weiter an. Indem er nun auch noch die dünne, oft nicht über 500 m dicke Decke, die den Granit noch von der Oberfläche trennt, zerspaltet, entstehen Wege, die unmittelbar bis zur Erdoberfläche hinausführen. Freilich sind diese kaum je breit, zahlreich, gangbar genug, um der mit rascher Erstarrung bedrohten Schmelzmasse in breiter Front den Austritt zu gestatten; kaum je kommt es zum Durchbruch eines Massivs, zur „Arealeruption“. Um so zahlreicher und bedeutsamer jedoch sind die Gänge, die sich zur Erdoberfläche emporarbeiten, und die Vulkane, die sich über ihrer Mündung aufbauen! In vielen Fällen scheinen diese nicht unmittelbar aus den diskordanten Massiven der zweiten Generation, geschweige aus den konkordanten der ersten gespeist zu werden, sondern einer selbständigen dritten anzugehören.

Wir wollen dieser wichtigen „Spaltenfrage der Vulkane“ einen besonderen Abschnitt widmen, zuvor aber das bisher von vielen Beispielen Abstrahierte an einem einzigen konkret zu veranschaulichen suchen.

Der Harz.

Der Harz, dieser Berater in so vielen Fragen der deutschen Geologie, bringt auch zu unserem Thema reiche Beiträge. Granit ragt an zwei Stellen, in dem beherrschenden Brockenmassiv und in dem kleineren Ramberg aus faltenreichem Schiefermantel hervor, basische Vorläufer begleiten ihn im Radautal, Spalten haben seine Ausläufer und Nachschübe in die Umgebung fortgeleitet, aus dem erkaltenden Kern die Metall-

verbindungen ausgezogen und als Erzgänge fixiert; an Bewegungsflächen von der gleichen Richtung wurde später das ganze Gebirge über sein Vorland herausgehoben.

Meine Darstellung will nicht mehr sein als ein Entwurf und Versuch, der nach Verbesserung verlangt und keine Ergebnisse, sondern nur einen Weg zeigen soll⁴³⁾. Es scheint, daß man die Hauptlinien des Harzes nach den im vorigen entwickelten Regeln aus einem einfachen Druck von SO oder SSO herleiten kann. Dieser Druck zeichnet sich zunächst ab in der ostnordöstlichen Streichrichtung und der nordwestlichen Vorbewegung der Falten, die aus dem Rheinischen Schiefergebirge wie am Lineal entlang herüberstreichen. Während

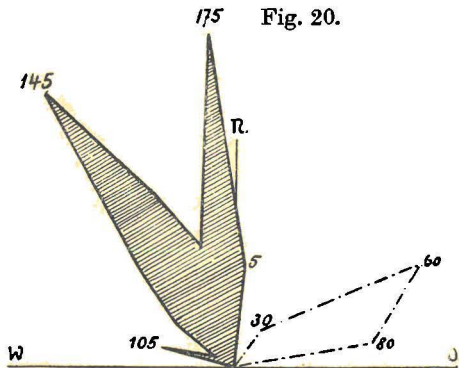


Fig. 20.

Gangrose der alten Eruptivgänge des Westharzes. In Nordost- bis Ostnordostrichtung (30, 60 bis 80) die Spaltseite der Granitbrüche südlich Ilsenburg (gestrichelt).

noch die Faltung im Gange war, drangen basische Schmelzen empor, so daß ihre Abarten der Streichrichtung folgen konnten, die Faltung als solche aber festlegten. Ihnen folgt später der Granit, und zwar in mehreren Schüben, die je jünger, desto weniger von der Faltung, desto mehr von einer quer bis schiefwinklig zu ihr verlaufenden

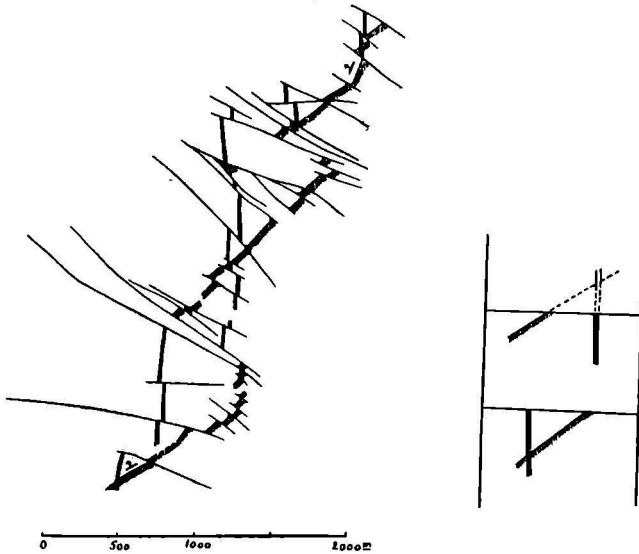
Bruchbildung beeinflußt sind. Und zwar streichen diese Brüche in der Mehrzahl NW, quer zum Faltenstreichen, seltener WNW (links) oder NNW, beinahe N (rechts).

Meine Messungen lehrten nun, daß sich auch diese Brüche noch von demselben Druck von SSO bzw. aus einer Zerlegung desselben herleiten lassen. Die Spaltfläche nämlich streicht in allen Granitbrüchen, in denen ich einwandfreie Messungen anstellen konnte, im Streichen der älteren benachbarten Falten; und zwar schwankt sie in derselben Breite wie jene, oder noch etwas stärker, so daß die auf ihr senkrecht stehenden Querflächen bald nach NNW bis beinahe N, bald

nach NW und WNW zielen; auf die mittlere Druckrichtung bezogen, lassen sie sich als linke Diagonale, Querfläche und rechte Diagonale auffassen⁴⁴).

Das heißt also, während der Erstarrung wurden durch den gleichzeitigen Gebirgsdruck bereits alle wichtigen Richtungen des älteren Harzgebirges angelegt (Fig. 20): Der Fläche *S* folgen, unter Faltung eingepreßt, die ältesten basischen Massen. Auf der Querfläche (NW) dagegen liegt schon die Hauptmasse der

Fig. 21.



Karte und zwei Profilskizzen des nordsüdlichen Eruptivganges (dicke Linie) und der nordwestfallenden, nordoststreichenden Schichtgrenze (von Culm und Devon, schraffiert) auf den Blättern Lutter a. B. und Seesen der geologischen Spezialkarte von Preußen. Beide sind gemeinsam an Querflächen durch Druck aus SO verschoben.

Gänge und Kontakte vom Alter der nachfolgenden Granite; an ihr sind ganze Teile des Granitmassivs selber emporgedrungen, während ein anderer Teil dieser Gänge der rechten, ein dritter der linken Diagonale angehört; letztere ist es, die dann den Andreasberger und Clausthaler Erzgängen hauptsächlich die Richtung gibt. Dieselben Richtungen treten aber auch in der späteren Geschichte des Gebietes hervor; die mittlere und linke Gruppe, der mit dem Nordrand des Gebirges fast die ganze jüngere Tektonik Norddeutschlands folgt, hat man her-

zynische Richtung genannt; die rechte, zuerst durch Scharen von Eruptivgängen vertreten, die den mittleren Harz durchqueren (Elbingerode—Ilfeld—Hasselfelde), wird bereits dem rheinischen System zugezählt.

Daß sich auf den Quer- und Diagonalflächen auch wirklich Seitenbewegungen abgespielt haben, sieht man im W des Brockengebietes. Hunderte von Blattverschiebungen sind hier durch eingehende Kartierung nachgewiesen, wobei die Bewegung weder ganz wagerecht noch ganz steil verlief, sondern in einer Resultante⁴⁵⁾. Ausnahmsweise sind deren beide Komponenten noch getrennt verzeichnet, wie beim Seismometer. So hat in Fig. 21 ein senkrecht stehender Eruptivgang die horizontale, eine flach fallende Schichtfläche die vertikale Komponente der Bewegung sichtbar und meßbar gemacht.

Sehr eigenartige Anzeichen von Seitenbewegungen zeigt der Brockengranit selbst: Während er nach SO sanft unter sein Schieferdach absinkt, ist er im NW längs einer ansteigenden Fläche über seine älteren Nebengesteine (Eckergneis) vorgedrängt⁴⁶⁾; er ist gewissermaßen in plastischem Zustand „überschoben“⁴⁷⁾. Der Überschiebungsfäche geht dabei innerhalb des Granits das „Lager“ parallel, das in den genannten Steinbrüchen flach nach S oder SO einfällt, von Streifenschlieren und vielleicht sogar von Parallelstruktur gefolgt.

4. Vulkane und Spalten.

Wir wenden uns zu der letzten Wegstrecke des Magmas, seinem Austritt an die Oberfläche, der vermittelt wird durch Spalten.

Bis vor kurzem gab es eine „Spaltenfrage der Vulkane“ in dem Sinne, ob die Schmelzmassen der Tiefe im Stande seien, sich aus eigener Kraft bis zur Oberfläche durchzuarbeiten oder ob sie dazu offener, d. h. durch die nicht-vulkanische Gebirgsbildung geöffneter Spalten bedürften⁴⁸⁾. Wir dürfen diesen Teil des Problems als geklärt ansehen durch die an früherer Stelle mitgeteilte Tatsache, daß beides richtig ist, und zwar, daß für den tieferen und längeren Teil des Aufstiegsweges Spalten benutzt werden, während die letzte

Wegstrecke unter der Oberfläche vielfach durch die vulkanische Spannung aktiv ausgesprengt wird. Danach lautet für uns die Spaltenfrage der Vulkane nunmehr enger: Hat die vulkanische Füllung fertig geöffnete, gewissermaßen tektonisch „tote“ Spalten benutzt oder wurde sie während der Bildung oder wenigstens während der Öffnung derselben zugeführt? Das heißt also, sind ähnlich wie an der Bildung von Eruptivmassiven so auch an der Bildung von Eruptivgängen die beiden Faktoren Gebirgsbildung und Vulkanismus miteinander oder sind sie nacheinander beteiligt gewesen? Diese Frage ist deshalb so wichtig, weil wir im ersten Falle die Möglichkeit bekommen, denselben Druck, der Spalten bildet und öffnet, auch für das Empordringen der Schmelze verantwortlich zu machen!

Einen wichtigen Hinweis hierfür geben uns zunächst Grupes Mitteilungen über die Rhön⁴⁹⁾.

Im Gebiete der Rhön finden im Tertiär die empordringenden Basaltflaven zwei Systeme von Sprüngen, das nordwestlich gerichtete herzynische und das nördliche bis nordnordöstliche rheinische. Aber (mit wenigen Ausnahmen) werden von der vulkanischen Zufuhr nur die rheinischen benutzt und zu Gängen aufgefüllt oder zu Schloten erweitert, während die herzynischen auf die Förderung und Unterbringung der neuen Stoffe keinen Einfluß gewinnen. Grupe folgert aus dieser, für weite Gebiete Mitteldeutschlands gültigen Einseitigkeit, daß das bloße Vorhandensein von Sprüngen für die Bildung vulkanischer Gänge noch nicht genügt, denn sonst hätten beide Richtungen benutzt werden müssen; sondern die Sprünge müssen kurz vor oder während des vulkanischen Zudranges belebt und geöffnet worden sein, und dies sei im Falle der Rhön nur den rheinischen Sprüngen geschehen. Nach Grupes Ansicht gehört also zur Bildung dieser vulkanischen Gänge die tätige und ungefähr gleichzeitige Mitwirkung nichtvulkanischer, tektonischer Vorgänge. Diese Folgerung deckt sich vollkommen mit unseren Beobachtungen in größerer Tiefe. Nur würde man auf Grund unserer Feststellungen den gangfreien Sprüngen herzynischer Richtung nicht abstreiten, daß sie gleichzeitig bewegt, sondern nur, daß sie gleichzeitig

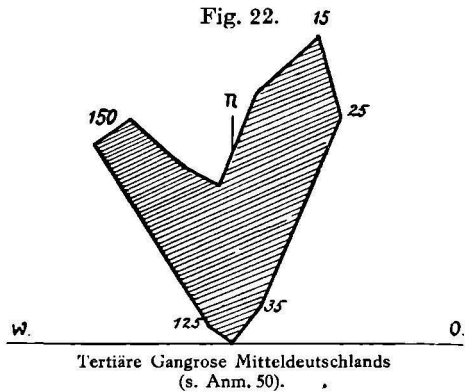
geöffnet worden wären, man würde annehmen, daß sie ungleichwertig wären und etwa zur Bildungszeit der rheinischen Gänge bereits außerhalb von deren Zugquadranten gelegen hätten. Zu einer solchen Deutung werden wir nun allerdings angesichts fast aller vulkanischen Gangsysteme der Erde genötigt. Fast immer überwiegen Gänge eines oder weniger Systeme an Zahl alle anderen, möglichen, fast nie sind sämtliche vorhandenen Kluft- oder Sprungrichtungen gleich rege benutzt worden. Da der Vulkanismus an sich keine Richtung bevorzugt, so muß man tatsächlich annehmen, daß diese Unterscheidung durch die Bildungskräfte der Sprünge selbst vorgenommen wird. Es liegt nahe, anzunehmen, daß diese Ungleichwertigkeit von Sprung- und Klufttrichtungen in dem höchsten Stockwerk der Kruste auf derselben Ursache beruht, wie in dem nächst tieferen, auf dem Verhältnis zum Seitendruck.

In diesem Sinne wurde die Frage eigentlich schon bejaht durch die einseitige Orientierung der Eruptivgänge des älteren Riesengebirges und Harzes (Fig. 3 u. 20). Beide Male überwogen die in der (mittleren) Druckrichtung liegenden Gänge alle anderen; beide Male waren ihnen minder zahlreiche in der linken und rechten Diagonale zugesellt, beide Male fielen über 95 Proz. aller Gänge in den „Zugquadranten“. Tritt man aus den carbonischen Rumpfbirgen in ihre jüngere Umgebung, so herrscht auch hier dieselbe Regel, nur sind mit der allgemeinen Druckrichtung auch ihre Komponenten und ihre Wirkungen gedreht. Noch folgen die tertiären Basaltgänge im großen und ganzen denselben Richtungen wie die carbonischen Granite, Porphyre und Melaphyre des Harzes. Aber während damals die herzynischen Gänge die rheinischen überwogen, ist im Tertiär das Verhältnis umgekehrt und außerdem der Bereich der rheinischen Gänge über N nach NNO ausgedehnt. Diese Änderung wird bei einem Vergleich der carbonischen Gangrose des Harzes (Fig. 20) mit der tertiären Mitteldeutschlands (Fig. 22) sofort anschaulich⁵⁰). Zugleich sieht man, daß die beiden „Richtungen“ durch alle Übergänge miteinander verknüpft sind und ein Richtungsfeld bilden. Dies liegt beide Male gerade innerhalb eines rechten Winkels, dessen Halbie-

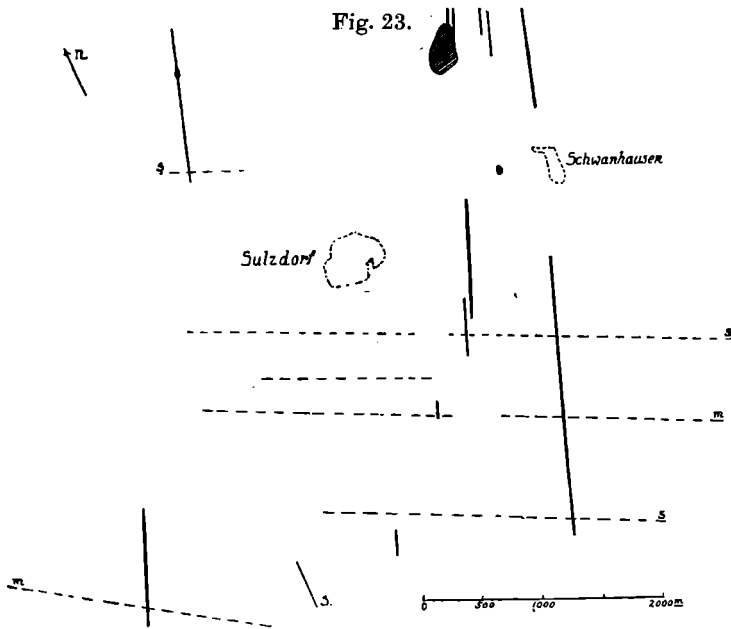
rungslinie im ersteren Falle auf der mittleren Streichrichtung, im zweiten auf einer nahezu ostwestlichen Richtung senkrecht steht. Es scheint sich also der „Zugquadrant“ seit dem Carbon um etwa 25 bis 30° nach rechts (im Sinne des Uhrzeigers) gedreht zu haben. Dies ist auch etwa der Betrag, um den die mittlere Streichrichtung des Alpenkörpers gegen die mittlere Streichrichtung seines carbonischen Vorläufers nach rechts abweicht: Der Druck, der im Carbon von SO kam, wirkt im Tertiär aus SSO oder S. Infolgedessen können die (herzynischen) Nordweststörungen, die im Carbon als Zugspalten angelegt wurden, in der jüngeren Gebirgsbildung von einer starken seitlichen, Südwestkomponente getroffen und von ihr umgebildet werden. Soweit diese Komponente vorherrscht, sind sie im Tertiär für den Aufstieg des Magmas nicht mehr verwendbar. In den Gebieten mit ausgesprochenherzynischer Drucktektonik („Bruch-

faltung“) sind dementsprechend die Basaltgänge an beinahe senkrecht zu ihr, NNO gerichtete Spalten gebunden (Fig. 23).

Es liegt nahe, diese Erfahrungen an den tertiären Gängen auf ihre tektonischen Gegenstücke, die Gräben und Verwerfungen zu übertragen und an ihnen zu erproben. Denn auch die jungen Brüche in Deutschland folgen bekanntlich ganz überwiegend der herzynischen und rheinischen Richtung, auch sie meiden die varistische Grundlinie. Auch hier tritt bei den herzynischen die Druckkomponente, bei den rheinischen die Zugkomponente stärker in den Vordergrund, so daß man nicht fehl gehen wird, wenn man die rheinischen Gräben auf die Querdehnung, die herzynischen Verschiebungen auf die Zusammenschiebung unter ein und demselben Druck bezieht. Für das größte Beispiel aller europäischen Gräben, den Rheinalgraben, ist eine ähnliche Erklärung bereits ver-



sucht und anerkannt worden⁵¹). Van Werveke nämlich faßt die Randgebirge des Grabens als Gewölbe auf, die durch einen Druck von den Alpen her aufgetrieben seien. Durch denselben Druck seien spitzwinklig zur Druckrichtung Spalten aufgeklafft und zwischen ihnen der Graben eingesunken, ein Vorgang, den van Werveke mittels einer, von zwei Scherenschnitten durchsetzten Postkarte veranschaulichte. Im Sinne unserer Untersuchungen wären beide Randverwerfungen rechte Mohrsche Flächen. In dem Maße, wie der Graben versank,



Basaltgänge (dicke, schwarze Linien) und Streichen schwacher Falten (gestrichelt, s = Sättel, m = Mulden) auf Blatt Rieth der geologischen Spezialkarte von Preußen.

mußte dann aber der Druck unsymmetrisch wirken, da er von S kommend, auf der Ostseite vom Rande ins Innere, auf der Westseite vom Innern auf den Rand übersetzen würde. Mit dieser Überlegung würde in gutem Einklang stehen, daß auf der Schwarzwald- und Odenwaldseite die Hauptverwerfung vielfach unter das Gebirge, gegenüber dagegen fast ausnahmslos unter die Ebene einfällt. Zur Ableitung dieser und gleich gerichteter Störungen, wie z. B. der Schollen bei Marburg

(s. oben S. 37) aus einem Druck ungefähr in der Längsrichtung, wird man geradezu gedrängt, wenn man sieht, daß Zeichen von Dehnung in der Querrichtung mit Zeichen von Bewegung in der Längsrichtung eng verknüpft sind. Ich habe auf diese Verbindung schon vor Jahren gelegentlich hingewiesen.

Ein kleines, aber deshalb vollkommen erforschbares Beispiel wurde oben (S. 37) geschildert. Gleichartiges habe ich in dem hessischen Gebiet, durch das die Nordfortsetzung des Rheingrabens selbst hindurchsetzt, auch an großen Verwerfungen beobachtet. „Trotzdem“ die Schollen auseinandergezogen wurden — die Verwerfungsflächen fallen unter den gesunkenen Flügel ein — finden sich auf den Bewegungsflächen Spuren flacher bis wagerechter Verschiebungen, die nicht ohne seitlichen Druck erklärbar sind. Dieser scheinbare Widerspruch läßt sich auf zwei Arten beheben; entweder, indem man dennoch versucht, das Vorhandensein von Zugbewegungen zu leugnen, oder indem man Zugbewegungen- und Druck nebeneinander bestehen läßt, aber auf zwei aufeinander senkrechte Richtungen verteilt.

Diese Möglichkeit wird exakt bewiesen durch die Lage offener Klüfte und Gänge in der Druckrichtung (S. 13); ihre Übertragung auf Schollengebirge rechtfertigt das Vorkommen normaler Schollen, die für Bewegungen nach der Schwere zu klein und daher zu leicht sind (S. 36).

Für das Verhältnis der Vulkane zu Spalten ergibt sich aus dem vorigen ein klares Bild:

Bei seinem Vortrieb gegen die Oberfläche steht das Magma unter Seitendruck. Dieser hilft das Magma treiben, wirkt aber zugleich auf die bedeckende Kruste. In dieser vermag er Spalten zu öffnen, die in der Mehrzahl in der mittleren Druckrichtung selbst liegen, demnächst zu beiden Seiten derselben, d. h. in Richtung ihrer Komponenten angeordnet sind und einen von der mittleren Druckrichtung halbierten rechten Winkel, den Zugquadranten, füllen. Auf solchen Spalten steigt das Magma passiv empor, bis seine Gasspannung die Last des Hangenden zu überwinden und den Rest des Weges aktiv auszubohren und zu sprengen vermag. An dieser Stelle beginnt im engeren Sinne der Vulkanismus.

Schluß.

Wir kommen zum Abschluß, nicht der Arbeit, aber doch dieser ersten vorläufigen Zusammenfassung. Ich lege Wert auf die Feststellung, daß es sich nur um einen Entwurf handelt, einen ersten Versuch, an dem jede Weiterentwicklung zugleich eine Abänderung und, wie ich hoffe, eine Verbesserung bedeutet⁵²).

Es war meine Absicht, Methoden anzugeben, durch welche die großen plutonischen Massive der Erde einer geologisch - tektonischen Untersuchung zugänglich würden. Ich hoffe, daß mir dies — im ersten Hauptteil des Buches — gelungen ist. Im zweiten Teil wurden diese Methoden erprobt und weiter entwickelt an den beiden Hauptproblemen des Tiefenvulkanismus — der Massiv- und der Gangfrage.

Ich möchte schließen mit einem Versuch, unsere Befunde für das Verständnis der Gebirgsbildung — auch der nicht-vulkanischen — und damit des Erdantlitzes nutzbar zu machen.

Die Möglichkeit zu einer solchen Übertragung beruht einmal auf der außergewöhnlichen Druckempfindlichkeit des vulkanischen Stoffes, die ihn zum Manometer des gebirgsbildenden Druckes, wenigstens hinsichtlich seiner Richtung, vielleicht auch seiner Stärke erhebt. Sind doch geologische Karten wie gefärbte Präparate, in denen die Zonen geringeren Druckes durch die kräftigen Farben ihrer vulkanischen Füllung grell hervorstechen!

Diese Möglichkeit beruht aber ferner auf der in Granitgebieten verwirklichten engen Parallele von plastischer und spröder Reaktion auf einen und denselben Druck.

Die Gesichtspunkte lassen sich hier nur andeuten.

Zunächst werden einfach die großen Lücken gefüllt, die an Stelle der Massive im dynamischen Apparat der Erdkruste klafften. In manchen Fällen wird sich dabei nur Erwartetes bestätigen wie im Riesengebirge, wo der Druck den

Kern von derselben Seite traf wie die Schale, und wo daher das Bild nach der tektonischen Seite hin mehr vertieft als erweitert wurde. Anders in Massiven von der Größe und Stellung der Lausitzer Granitmasse, die bisher jeder Einordnung widerstrebte. Hier wird man einer tektonischen Analyse mit um so größerer Spannung entgegensehen, als der ungefüge Klotz sich an die Stelle eines wichtigen Strukturpunktes, einer der beiden Angeln im carbonischen Faltenbogen Europas gesetzt hat⁵³).

Daß die Ergebnisse zum Teil den Erwartungen zuwiderlaufen, läßt durch seine völlig disharmonische Lage in der Schale das mittelschlesische Granitmassiv erwarten (S. 58). Hier ist die Druckrichtung im Kern anscheinend bis zu 90° verschieden von derjenigen in der Schale. Man muß wohl allgemein damit rechnen, daß die gebirgsbildende Kraft zerlegbar ist⁵⁴) und daß, wie in diesem Beispiel, verschiedene Komponenten am selben Orte nacheinander hervortreten können. Diese Möglichkeit ist für Faltengebirge besonders wichtig, da sie vielleicht auf die bekannte Erscheinung der „Querfaltung“, d. h. einer Verkürzung des bereits gefalteten Gebirges in der Längsrichtung, ein helleres Licht wirft. Der häufigere Fall scheint freilich, daß die Komponenten sich zur gleichen Zeit an verschiedenen, wenn auch benachbarten Orten zur Geltung bringen, wie im technischen Druckversuche. So steht einem Druck aus SSW im Riesengebirge, ein südlicher bis südöstlicher in dem benachbarten mittelschlesischen, ein südsüdöstlicher im ostschlesischen Massiv gegenüber.

Eng hängt mit dem Komponentenproblem die Tatsache zusammen, daß diagonale Linien die Druckrichtung unter bestimmten und berechenbaren Winkeln begleiten. Hier sind es technische Versuche, die weiter verfolgt werden müssen und von deren Übertragung auf die Erdkruste zu lernen ist (Kapitel 4, S. 24). Besondere Aufmerksamkeit ist der Frage zu schenken, wieweit der Winkel dieser Ausweichrichtungen mit der Druckrichtung auch in der Natur, wie in der Technik, vom Material abhängt. Tiefe, Temperatur, Gesteinsart, Erstarrungszustand müssen dabei zur Geltung kommen. Noch unbekannt ist ferner, warum Risse im Gestein bald diagonal,

bald aber auch in der Druckrichtung selbst aufspringen. Auch die Technik kennt beides, hat aber noch keine sie selbst befriedigende Erklärung. Vielleicht spielt — neben dem Widerlager (S. 28) — das Verhältnis von Schub- oder Scher- und von Zug- oder Bruchfestigkeit des Gesteins eine Rolle. Zum Beginn der Erstarrung dürfte dieser, später jener Faktor möglicherweise geringer sein⁵⁵).

Beide, sowohl die Quer- wie Diagonalfächen, sind ihrer Anlage und Entstehungsweise nach eben. Denn als Bruch- und als Scherflächen sind sie, wie die Technik lehrt (S. 26), in ihrer Richtung unabhängig von der Stärke des Druckes. Dies unterscheidet sie von den quer zum Druck liegenden streichenden oder Längsflächen und ist daher von Wichtigkeit für die Deutung von Linien des Erdantlitzes nach ihrer Lage und Form.

Querflächen reißen auf in der Druckrichtung bei jeder Stärke. Verschieden ist nur ihre Zahl und der Verschiebungsbetrag. Gleiches gilt von den Diagonalen. Die streichenden Flächen dagegen schwanken von Ort zu Ort je nach der Stärke des Druckes, der sie trifft. In dieser ungleichen Zuordnung zum Druck liegt wohl im wesentlichen der Unterschied zwischen der Bogenform der Faltenzüge und den starren Linien der Schollengebirge.

Vielleicht werden uns solche Beziehungen mit der Zeit instand setzen, eine klarere Ordnung zu schaffen unter den Zügen, die das Antlitz der Erde so bunt und unruhig gestalten.

Ich will dies am Beispiel Afrikas kurz erläutern. Der afrikanische Kontinent wird bekanntlich von jüngeren Faltengebirgen im N und im S gesäumt. Sie streichen ungefähr ostwestlich, so daß die allgemeine Hauptdruckrichtung ebenso wie in Europa im Meridian zu verlaufen scheint. In dieser Richtung selbst liegt ein Teil der schmalen und scharfen Gräben und Bruchstufen, die den Ostteil des Kontinentes fast in seiner ganzen Länge von N nach S durchziehen. Andere dagegen weichen nach NO und NW ab. Bei allen jedoch lehrt der Austritt großer junger Schmelzmassen, daß sie Dehnungslinien und als solche von den anders gerichteten

Faltenzügen verschieden sind. Trägt man nun alle diese Linien nach Länge und Streichrichtung zu einer Sprungrose zusammen, so erhält man wiederum die bezeichnende Form eines schlanken Ahornblattes, dessen Winkel am Grunde ein rechter ist und von der Richtung des Maximums ungefähr halbiert wird. (Das Maximum liegt bei 170 bis 180° , also N, ein zweites bei $N 30^{\circ} W$, ein drittes bei $N 30^{\circ} O$, die Extreme bei $N 50^{\circ} W$ und $N 40^{\circ} O$.) Das heißt also, die großen Spalten liegen innerhalb des ganzen Zugquadranten, bevorzugen aber die „Druckrichtung“ und die rechte und linke Ausweichfläche. Auch die Küstenlinie, besonders die keilförmige Verjüngung des Kontinents nach S findet hier Platz⁵⁶). Es sollen diese objektiven Messungen vorerst ohne Deutung verzeichnet werden. Noch fehlt fast jede genauere Beobachtung an Ort und Stelle, die uns zum Übergang auf so große Verhältnisse berechtigte.

Alle die eben angedeuteten Beziehungen führen aus den Tiefengesteinsmassiven nach oben, ins Bereich der seichteren Erdkruste und ihrer Oberflächenformen⁵⁷). Eine zweite Gruppe von Beziehungen leitet nach unten ins Gebiet der kristallinen Schiefer⁵⁸) und zur Frage des aktiven Vulkanismus.

Die kristallinen Schiefer sind bekanntlich Gesteine, die aus Schichtgesteinen und aus Eruptivgesteinen umgebildet worden sind. Die umbildenden Vorgänge sind Schieferung und meist auch Streckung, d. h. dieselben, die wir mit den Mitteln der Tektonik am Granit zu untersuchen gelernt haben. Es gilt also, entsprechende mechanisch-tektonische Methoden in jene großen Tiefen hinabzutragen, in der die kristallinen Schiefer entstehen. Für die umgewandelten Sedimente wird dies zweifellos möglich sein, wie z. B. Mitteilungen Beckes beweisen⁵⁹). Aber auch zu den umgewandelten Eruptiven, den Gneisgraniten und Granitgneisen scheint der Zugang über Strehlen geöffnet. Hier ist vor allem noch mikroskopische Arbeit zu leisten⁶⁰).

Mit dem Abstieg zu den kristallinen Schiefen treten wir zugleich dem unteren Wendepunkt der gemischten Gebirgsbildung (S. 3) näher. Hier erhebt sich die Frage, wieweit in der Tiefe ein aktiver Vulkanismus tätig und auf die Gebirgsbildung von Einfluß sei.

Ich habe über die Lehre von der aktiven Natur des Vulkanismus eingangs berichtet. Sie ist seit den Anfängen der Geologie nie ganz verstummt und neuartige und wichtige Beobachtungen sind gerade in allerletzter Zeit wieder dafür beigebracht worden⁶¹). Ich will hier nicht auf Einzelheiten eingehen. Beobachtungen über aktive Granitintrusionen werden im allgemeinen mittels der neu angegebenen Methoden nachzuprüfen sein, bevor man Spezielles sagen kann. Ganz allgemein gesprochen ist aber diese Frage zweifellos in erster Linie eine Tiefenfrage. Je tiefer, desto plastischer ist die Kruste, desto plastischer auch das Material der Gebirgsbildung. Endlich wird das Magma allein Träger und damit auch „Ursache“ der Gebirgsbildung. Von einem aktiven Vulkanismus zu reden, hat also nur Sinn, soweit dieser hoch in das Niveau anderer, nichtvulkanischer Stoffe und Gebirgsbewegungen hinaufreicht. Wenn es in diesem einschränkenden Sinne gelänge, im tiefvulkanischen Gebiet mechanische Bedingungen der Gebirgsbildung zu finden, so wäre viel gewonnen. Die Ursachen der Gebirgsbildung sind damit natürlich nur in eine größere Tiefe zurückgeschoben. Hierüber noch ein paar Worte:

Wir haben in der „passiven“ Zone den Vulkanismus in solch intimer Weise mit der Tektonik Hand in Hand gehen sehen, daß er als eine Gebirgsbildung mit hochplastischem Material erschien. Schon durch diesen Ausdruck hatte ich die Unterscheidung von aktiv und passiv möglichst ausschalten wollen. Auch der vulkanische Stoff sollte als vollwertiger Träger der Gebirgsbildung erscheinen, nur in anderer Weise. Steigen wir nun aber in jene Tiefe hinab, in der alles plastisch wird, und betrachten die Tektonik von dort aus, so kehrt sich die Formel um: die Tektonik erscheint sozusagen als ein Tiefenvulkanismus mit unplastischem Material. Das will besagen, daß den fließenden, strömenden Bewegungen des tiefsten Untergrundes bestimmte sprödere Bewegungen der darüberliegenden „Erdhaut“ zugeordnet sein müssen. Diesen Gedanken hat Ampferer herausgearbeitet⁶²).

Ich möchte zum Schluß an dieser Stelle noch einen Augenblick verweilen. Was Ampferer für die Tiefe theoretisch verlangt, das haben wir in den Granitmassiven (Strehlen, in

der Lausitz, am Zobten usw.) praktisch vor uns: plastische, fließende Bewegungen in enger Verbindung mit spröden, brechenden, beide meßbar und die Maße vergleichbar⁶³). Nur erfolgen sie im Aufschlußniveau des Granitbruches nicht gleichzeitig, sondern nacheinander. Wir haben dort die plastische Dehnung in der einen Richtung zurückgeführt auf einen Druck in der darauf senkrechten. Nichts nötigt zu dieser Art der Anordnung. Man kann mit gleichem Rechte die Dehnung als Ursache, den Druck senkrecht dazu als Folge ansehen; jeder technische Versuch lehrt, daß Zug und Druck bei anderer Orientierung vertauschbar sind. Man wird also gut tun, sich zunächst nur an die Erscheinungen selbst zu halten und sehr genau bis ins kleinste die Beziehungen plastischer und spröder Bewegungen zu untersuchen. Im erstarrenden Granit wurde die Strömung (Streckung, Faserung usw.) als eine Erscheinung erkannt, die zum Streichen der Faltung parallel, zum mittleren Streichen der Brüche und Gänge normal verläuft und die zu diagonalen Linien eine bestimmte, statistisch leicht faßbare Beziehung aufweist.

Vielleicht liegt in diesem Beispiel eine Möglichkeit, das Verhältnis von Tektonik, Tiefenvulkanismus und „Unterströmungen“ oder von „brechender und fließender Tektonik“ schärfer zu fassen und zugleich auf Beobachtung und auf Berechnung zu gründen.

Bemerkungen.

1) Die Arbeit erscheint in einer Sammlung, die den „augenblicklichen Entwicklungszustand von Wissens- und Forschungsgebieten, Theorien . . ., die im Stadium der Entwicklung stehen“, beleuchten will. Von der Freiheit, die dies Programm gewährt, durfte und mußte ich Gebrauch machen. Vieles konnte nur angedeutet, an zahlreichen Stellen nur ein Weg gezeigt werden, auf welchem künftige und schon im Gange befindliche Arbeit festere und zum Teil andere Ergebnisse erzielen wird.

Mündlich vorgetragen habe ich einige Hauptpunkte der Arbeit am 27. November 1920 auf einem Colloquium der Geologischen Institute Jena, Halle, Leipzig, Dresden, Breslau.

2) Die enge Beziehung, welche die hier angewandte Betrachtungsweise mit der nichtvulkanischen Gebirgsbildung herstellt, bringt es mit sich, daß die Arbeit auf dieses tektonische Gebiet mehrfach übergreift — mit Methoden und Ergebnissen.

3) Siehe Ed. Suess, *Das Antlitz der Erde*, Bd. I, S. 222. Prag und Leipzig 1883.

4) Literatur bei v. Wolff, *Der Vulkanismus*, Bd. I, S. 236. Stuttgart 1914. Übersicht bei Neumayr-Suess, *Erdgeschichte*, 3. Aufl., Bd. I, S. 172—181. Leipzig und Wien 1920.

5) O. Grupe, *Über das Alter der Dislokationen des hannoversch-hessischen Berglandes und ihren Einfluß auf Talbildung und Basalt-eruptionen*. *Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Ges.* 1911, S. 310 ff.

6) *Studien über Scholleneinbrüche und Vulkanausbrüche in der Rhön. Ein Beitrag zur Frage der Abhängigkeit der Vulkane von prä-existierenden Spalten*. *Jahrb. d. Preuß. Geol. Landesanstalt für 1913*, XXXIV, Teil I, S. 407.

7) Vorarbeiten finden sich in folgenden größeren Abhandlungen des Verfassers:

H. Cloos, *Geologie des Erongo im Hererolande*. Vorläufige Mitteilung. Herausgegeben von der Kgl. Preuß. Geol. Landesanstalt. Berlin 1911.

Derselbe, *Geologische Beobachtungen in Südafrika*. IV. *Granite des Tafellandes und ihre Raumbildung*. *N. Jahrb. f. Min., Geol. u. Pal.*, Beilage-Bd. XLII, S. 420—456.

Derselbe, Der Erongo ein vulkanisches Massiv im Tafelgebirge des Hererolandes und seine Bedeutung für die Raumfrage plutonischer Massen. Herausgegeben von der Preuß. Geol. Landesanstalt. Berlin 1919. Mit einer Karte, Profilen usw.

Derselbe, Geologie der Schollen in schlesischen Tiefengesteinen. Neue Untersuchungen im Grenzgebiete der Gebirgsbildung. Abhandl. d. Preuß. Geol. Landesanstalt. N. F., Heft 81. Berlin 1920.

8) F. Becke, Mineralbestand und Struktur der kristallinen Schiefer. Denkschr. Math.-Naturw. Klasse. K. Akad. Wiss., LXXV. Wien 1903.

9) Cloos, 1920, S. 37 ff.

10) Ebenda, S. 17.

11) Ebenda, S. 37, Fig. 10. Man berücksichtige hier auch Anm. 63 der vorliegenden Arbeit.

12) Ebenda, Fig. 5.

12a) Wer die Erfahrungen und Methoden dieses und des folgenden Abschnittes auf andere Gebiete übertragen will, wird damit rechnen müssen, nicht überall so einfache Verhältnisse wie bei Strehlen anzutreffen. Insbesondere variiert, wie meine Messungen im Lausitzer Massiv, am Brocken und vielen anderen Stellen lehrten, die Druckrichtung in einer ähnlichen Breite wie im nichtvulkanischen Gebirge. Decken sich nun ausnahmsweise die örtlichen Komponenten des Druckes in den verschiedenen Stadien der Erstarrung, so können Schlieren Schollenketten, Streckung, Faserung, Teilbarkeit, Klüftung und Gänge zusammenfallen bzw. sich sinngemäß zusammenordnen. Überkreuzen sich dagegen die Druckvarianten der verschiedenen Stadien, so fällt auch der Bauquader der betreffenden Stelle nicht so einfach aus wie bei Strehlen und im Riesengebirge; vielleicht können sogar Streckung und Teilbarkeit einander schneiden.

Eine zweite Schwierigkeit bietet noch das Komponentenproblem. Nicht nur eine Hauptdruckrichtung kann sekundär variieren, sondern gleichzeitig oder nacheinander können verschiedene Primärdrucke auf dasselbe Gebiet wirken, so daß in einem Stadium die eine Richtung, im anderen eine andere hervortritt. Mit solchen Überdeckungen ist besonders in und an großen Grenzen der Gebirgarichtung (Elbedurchbruch usw.) zu rechnen. Man darf gerade da, bei sorgfältiger tektonischer Analyse, besonders lehrreiche Ergebnisse erwarten.

Ein drittes liegt in der Verwendung von Aplitgängen als Richtungsweisern. Aplite und Pegmatite sind hierzu, wie ich an vielen Gebieten gesehen habe, als unmittelbare Nachschübe während der Erstarrung nicht so geeignet, wie die etwas jüngeren porphyrischen und die Quarzgänge. Einmal spielt die gleichzeitige Kontraktion des Granits hinein, durch den Seitendruck nicht immer neutralisiert, und zum anderen trägt die ganz ungleiche Plastizität oberer und unterer Teile des erstarrenden Massivs zahlreiche Fehlerquellen in das Bild. Man denke z. B. an die Möglichkeit, daß der Seitendruck in der plastischen

Unterzone stärker sei als oben. Dann vermag er die schon erstarrte Kruste nach jeder Richtung auseinanderzutreiben und zu injizieren. Wir dürfen uns daher nicht wundern, im allgemeinen bei den Apliten weniger Ordnung zu finden als später.

13) Die Blätter Kupferberg und Schmiedeberg der geologischen Spezialkarte von Preußen, kartiert von G. Berg. Die Veröffentlichung der westlichen Fortsetzung vom gleichen Verfasser steht bevor. In meiner Übersichtsskizze (Fig. 3) habe ich das Fehlende aus der älteren Karte von Niederschlesien (von Beyrich, Rose, Roth und Runge, Blätter Hirschberg und Waldenburg), sowie aus Beschreibungen von Gürich und anderen und durch eigene Beobachtungen bei Krummhübel, Schmiedeberg, Buchwald, Jannowitz, Hirschberg und am Kamm ergänzt. Von den Gängen wurden nur die längsten und mächtigsten, bzw. für viele kleinere nur ein einziger eingetragen, Schlieren möglichst vermieden. Eine einwandfreie Darstellung wird sich erst nach dem Erscheinen der fehlenden Kartierungen von G. Berg geben lassen.

13a) Die aplitischen Nachschübe folgen in diesen Brüchen, wie an zahlreichen anderen Stellen des nordöstlichen Riesengebirges der Lagerfläche (*L*). 18 solche granitische „Lager“gänge von 0,20 bis 2 m Mächtigkeit sind im Nebengestein des Granits durch die Magnetitgrube von Schmiedeberg aufgeschlossen worden. Sie streichen nordwestlich und fallen mit 14 bis 20° nach NO ein. (Festschrift zum XII. Allg. Deutsch. Bergmannstag in Breslau 1913, Bd. IV, S. 125 und 126, sowie die Anlagen). Ungewöhnlich scharfe Lagergänge durchsetzen auch den ostschlesischen Granit bei Ottmachau.

14) In dem dem Riesengebirge nächstbenachbarten Lausitzer Massiv habe ich erst wenige Beobachtungen anstellen können. Im O, bei Görlitz, scheint der Hauptdruck wie im Riesengebirge zu liegen, während im W, z. B. in den großen Brüchen bei Demitz, die Richtung der Gänge, Kopfseite, Querflächen um WNW schwankt, und die „Gangseite“ (S), mit ihr zum Teil die sehr ausgeprägte Parallelstruktur des Gesteins NO bis NNO streicht. Im Lausitzer Massiv, das an der Grenze des varistischen und sudetischen Streichens liegt, scheinen also diese beiden Komponenten miteinander zu streiten und hier das bis jetzt noch kaum greifbare Komponentenproblem in erster Linie lösbar zu sein.

In dem Massiv von Jauer—Striegau—Zobten in Schlesien herrscht, wie ich den Messungen von Stefan Lopianowski entnehme, ein Druck aus SO vor, so daß nicht nur die großen Quarzgänge von Zobten, Järischau, Groß-Wandris usw. in der Druckrichtung liegen, sondern auch der spätere Sudetenrand.

15) F. Rinne, Gesteinskunde, 5. Aufl., Fig. 227, S. 107. Leipzig 1920.

Derselbe, Vergleichende Untersuchungen über die Methoden zur Bestimmung der Druckfestigkeit von Gesteinen, N. Jahrb. f. Min. usw. 1907, I, S. 45, Literatur S. 53, Fortsetzung ebenda 1909, II, S. 121.

Daß auch Rinne schon an eine Anwendung auf Gesteine in ihrem natürlichen geologischen Verbande gedacht hat, scheint eine Bemerkung im Lehrbuch, S. 39, anzudeuten. Verwandt sind den Mohrschen Linien auch die Sprünge, die A. Daubrée an Formwachsprismen durch Druck erzeugt hat und mit denen er natürliche Kluftsysteme vergleicht (Synthetische Studien zur Experimentalgeologie, deutsch von A. Gurlt, S. 243 ff. Braunschweig 1880). Doch konnte Daubrée bei dem damaligen Stande unserer tektonischen Kenntnisse den Vergleich noch nicht durchführen. Auch hat er die Hauptursache der Kluftbildung in der Torsion gesehen, die meines Erachtens in der Erdkruste nur eine Gelegenheitsrolle spielt.

O. Mohr, Abhandlungen aus dem Gebiete der technischen Mechanik. Berlin 1906.

C. Bach, Elastizität und Festigkeit, 6. Aufl., S. 160ff. Berlin 1911.

Die Versuche wurden aus einem anderen Anlaß in der Probieranstalt (Leitung Prof. Strauss) der Fr. Kruppschen Gußstahlfabrik in Essen ausgeführt und ihre Ergebnisse mir freundlicherweise zur Verfügung gestellt.

15a) Siehe z. B. Geologische Spezialkarte von Preußen usw., Blatt Hagen i. W., Lieferung 163. Berlin 1911.

Alb. Heim, Geologische Karte des Sántisgebirges, s. Anm. 16.

A. Denckmann, Geologische Übersichtskarte des Kellerwaldes, Abhandl. d. Kgl. Preuß. Geol. Landesanstalt, N. F., Heft 34, Tafel 1.

O. Wilckens, Allgemeine Gebirgskunde, S. 66, Fig. 68, S. 118, Fig. 100. Jena 1919.

Em. Kayser, Lehrbuch der allgemeinen Geologie, 5. Aufl., S. 236, Fig. 178. Stuttgart 1918.

16) Alb. Heim, Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz, Bd. 46, s. bes. S. 197—225 (Sax-Schwendibruch).

17) H. Quring, Die Entstehung der Schollengebirge, Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Ges., Bd. 65, S. 418 ff., 1913.

Überaus lehrreich ist auch der östliche Thüringer Wald in der Kartierung und Darstellung E. Zimmermanns (Lieferung 40, 114 und 181 der geologischen Spezialkarte von Preußen). Hier finden sich Quer- und Diagonalverschiebungen, Eruptiv- und Mineralgänge und Granitstöcke im Gefolge der Faltung gesetzmäßig angeordnet. Das Maximum der Gänge steht senkrecht auf dem mittleren (nordöstlichen) Faltenstreichen, der „Zugquadrant“, auf den sich 84 Proz. der Eruptivgänge, 99,2 Proz. der Mineralgänge (nach ihrer Ausdehnung) konzentrieren, wird von jenem halbiert. Für die „Querfaltung“, die nach Zimmermann den Bau des Schiefergebirges mitbestimmt, findet sich also in der Verteilung der Gänge keine Vertretung. Es wäre eine dankenswerte Arbeit, auch in den dortigen Graniten die tektonischen Konstanten zu ermitteln.

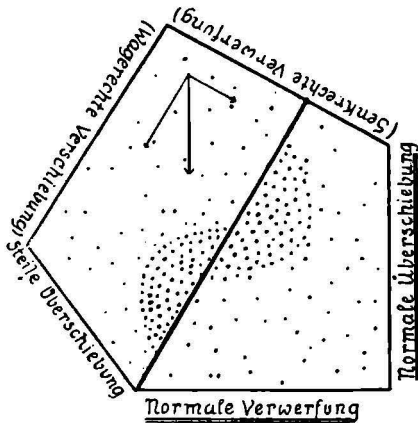
18) Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Ges. 1911, S. 496, und 1914, S. 204. Ältere Beobachtungen bringt H. Höfer, Die Verwerfungen, S. 57—67, Braunschweig 1917.

19) Diese Erwartung wird durch meine noch dürtigen Beobachtungen bestätigt. Die sehr flachen Rutschstreifen im Riesengebirge liegen auf sehr steilen Klüften (wie im Säntis), die steilen Rutschstreifen bei Strehlen auf verhältnismäßig sehr flach fallenden Klüften (55°). Die Untersuchung dieser Beziehung wird jedoch dadurch erschwert, daß die Lage der Klüfte nicht auf die heutige, sondern die ursprüngliche Lage der maximalen Belastung zu beziehen ist.

Die Darlegungen des Abschnittes „Druck und Last“ stellen natürlich nur eine schematische Vereinfachung dar. Ganz ausgeschaltet wurde vor allem die Tatsache, daß nahe der Erdoberfläche, also unter einer im Vergleich zum Seitendruck beinahe zu vernachlässigenden Belastung, die Massen nicht schräg nach den Seiten, sondern schräg nach vorn-oben ausweichen; man nennt diese Bewegungsform Überschiebung. Abgesehen von der absoluten Lage, müssen natürlich auch

diese Flächen den gleichen Regeln gehorchen. Man kann sich diese Beziehung leicht an einem Schema klar machen. Denkt man sich nämlich in Fig. 24 eine (um die Vorstellung einer bestimmten Schichtlage auszuschalten) kugelförmige Gesteinsbildung, von einer Verschiebung zerlegt, so setzt die Verschiebung im Sinne der Mohrschen Linie einen Druck in Richtung der Pfeile voraus. Dies relative Verhältnis bleibt von der Lage im Raum und in der Erdkruste unberührt. Je nach der Stellung,

Fig. 24.



die man der Fläche gibt, erscheint sie nun entweder als „normale Verwerfung“, wobei der Druck vorwiegend durch die Schwerkraft ausgeübt wird. Oder aber sie ist „Überschiebung“, wobei der Seitendruck die Schwere überwindet, oder endlich, bei wagerechter Lage der Bildfläche, ist sie „Blattverschiebung“ von der Lage einer rechten Mohrschen Linie. Seltener ist eine Stellung, bei der die Fläche als Querfläche, als senkrechte Verwerfung oder als horizontale Überschiebung erscheint. Auch ist in diesem Falle der Hauptpfeil vielleicht anders, nämlich der Fläche parallel zu stellen.

Man kann also die beiden Hauptstörungen der Gebirgsbildung, Überschiebung und Verwerfung, einander absolut gleichsetzen und ihre verschiedene Stellung auf eine relativ andere Kombination der Druckkomponenten beziehen. Überschiebung kann entstehen, wenn die Massen unter Seitendruck entgegen der Schwere nach oben ausweichen

können, also in geringer Tiefe, Verwerfung, wenn (am Sitz der Kraft) die Belastung so groß wird, daß die Seiten Richtungen geringsten Widerstandes werden und die Schwerkraft starken aktiven Anteil an der Verschiebung erhält. Je steiler die entstehende Fläche steht, desto geringer ist die dauernd wirkende Komponente (Schwerkraft), die die Fuge verschließt. Daraus erklärt sich, warum Verwerfungen gern offen stehen, Überschiebungen fast nie.

20) Die Betrachtungen schließen an den allgemeinen Teil meiner „Geologie der Schollen . . .“ an, Abhandl. d. Preuß. Geol. Landesanstalt, N. F., Heft 81, S. 84 ff. Berlin 1920.

21) A. Harker, The natural History of Igneous Rocks. London 1909. — Abgebildet bei v. Wolff, Der Vulkanismus, S. 228. Stuttgart 1914.

22) Geologische Rundschau, Bd. I, S. 13. Leipzig 1910.

23) H. Cloos, Geologie der Schollen . . ., S. 61, Fig. 15, 1920.

24) Für den folgenden Gedankengang verdanke ich starke Anregungen den Beobachtungen von Dr. Erich Bederke in Breslau, der das größte und bedeutsamste dieser Massive, den Syenitbogen von Glatz-Reichenstein, geologisch aufgenommen und mich in seinem Arbeitsgebiet geführt hat. Besonders dankbar bin ich E. Bederke für die Möglichkeit, einige seiner Beobachtungen in diese Arbeit voranzunehmen.

24a) Keinem dieser Gebilde steht außerhalb der Grenzzone Gleichwertiges zur Seite. Größere Syenitmassive und Serpentinstücke fehlen links und rechts, nur Gabbro findet sich gelegentlich, am ausgedehntesten noch einmal bei Volpersdorf. Auch der Neißegraben ist, unbeschadet kleinerer Kreidegräben in Boberkatzbachgebirge, ein Ding für sich. Es ist also damit zu rechnen, daß die Grenzzone das Auftreten der genannten Einheiten mechanisch verursacht hat. Diese Annahme wird zur Gewißheit, wenn wir die Formen dieser Gebilde und die Art ihrer Einfügung schärfer ins Auge fassen.

25) Dieser Beweis läßt sich exakt erbringen für die beiden Syenite (II und IV), während I und III wahrscheinlich älter sind als die Hauptbewegungen. Ich kann diesen Beweis, wenn ich nicht wesentliche Teile der Bederkeschen Arbeit vorausnehmen will, hier nur andeuten: Den Syenit für jünger zu halten, verbietet die weit verbreitete, dem Kontakt parallele Streckung, an welcher Schlieren und Einschlüsse des Syenits teilnehmen, der meist konkordante, deutlich syntektonische Charakter des Verbandes, sowie der konkave Verlauf der Nordwand. Wäre der Syenit älter, so müßte die Sichel sekundär und etwa aus einer symmetrischen Linse umgebildet sein. Diese Annahme hätte aber zur Voraussetzung, daß auch das Nebengestein aus einer gestreckten Ursprungslage erst nachträglich umgebogen wäre, was sich angesichts des widerstreitenden Drehungssinnes im N und S verbietet. Es ist vielmehr diese Beugung derjenigen anderer großer Gebirgsszüge verwandt: Nicht Falten sind gebogen, sondern Bögen

gefaltet worden. Offen bleibt nur die dritte Möglichkeit, daß der Schmelzfluß gleichzeitig mit heftigen Bewegungen der Kruste aufgedrungen ist und daß diese ihm in der angegebenen Weise den Zufuhrweg gebahnt und den Erstarrungsraum geöffnet haben.

Auch hier gilt als selbstverständlich, daß nach der Erstarrung der Druck andauerte, sich aber in anderen Bewegungsformen auswirken mußte.

26) Sollte es nötig werden, der neuen Intrusionsform eine eigene Bezeichnung zu verleihen, so wäre nach der Form des Grundrisses der Name „Sichelstock“ (griechisch Harpolith) gegeben.

Aber es bedarf keines Wortes, daß die Natur sich an das Modell nicht bindet. Noch empfindlicher als andere muß ein aus voller, gleichzeitiger, dabei mehrphasiger Bewegung des Nebengesteins geborenes Massiv auf jede Ungleichmäßigkeit der Bewegung und des Stoffes reagieren: Die Grenzen fallen nicht überall senkrecht ein und sind auch an der Oberfläche durch Zungen und Schollen aus dem Nebengestein mehrfach zerschnitten. Doch wird eine Einzeluntersuchung solche „Formfehler“ verfolgen und über die örtlichen Bedingungen auf die Gesamtbewegung zurückführen können.

So sind, um nur einiges anzudeuten, alle diese Gebilde mit Einschluß des Neißegrabens unsymmetrisch, und zwar in der Art, wie es ein einseitiger Druck aus O und SO erwarten läßt. Während die Außengrenze steil steht oder nach außen fällt [bei Nimptsch, am Serpentinbogen der Zobtengruppe, bei Reichenstein, nördlich Frankenstein (Beobachtungen über diese Stellen in meiner Geologie der Schollen, S. 76—78, 1920) und am Neißegraben (Überkippungen bei Wölfelsgrund und am Roten Berg)], fällt die Innengrenze nach Innen, also unter das Massiv bzw. den Graben ein (NW Nimptsch, Nordwesthang des Zobtenberges, Innenbogen des Syenits von Glatz bis Gierichswalde, nach Bederke, Westränder des Neißegrabens nach älteren Angaben und Beobachtungen von Fritz Herzog in Breslau usw.). Eine Ausnahme bildet der Südkontakt des Syenits von Glatz-Reichenstein, der ebenfalls unter den Syenit fällt. Ferner bestehen bei den zusammengesetzten Gebilden (Zobtengruppe, Neißegraben) Anhaltspunkte dafür, daß die Füllung von außen nach innen fortgeschritten ist, d. h. von einer ersten östlichen Hauptspalte in die entlastete Konkavseite vordrang.

Endlich finden sich große konkordante, an der Umbiegung teilnehmende Zungen und Schollen des Nebengesteins im Serpentin bei Frankenstein und Langenöls (nach meinen Beobachtungen), im Syenit von Glatz-Reichenstein (nach E. Bederke). Diese in die Füllung hineinschneidenden Fremdkörper geben ein besonders anschauliches Bild von der Aufblätterung, die das Gebirge im Scharnier der Biegung erfuhr. Vielfach ist das Scharnier wohl außerdem gebrochen.

Die eruptiven Füllungen der Biegezone folgen einander mit zunehmendem Kieselsäuregehalt: Serpentin, Gabbro, Syenit, alle sind

paläozoisch. Am jüngsten ist die tektonische Füllung des Neißegrabens, an der noch Kreideschichten teilnehmen. Auf dieser selben großen Nordsüdzone liegen im Anschluß an ihre Magmafüllung einige der wichtigsten (direkt oder indirekt) „juvenilen“ Lagerstätten Schlesiens: Magnesit, Nickelerz, Chromerz, Nephrit, Chrysopras an Serpentin gebunden, Arsen und Gold am Granit von Reichenstein.

Aber man darf über die Gebietsgrenzen hinausblicken. In der südlichen Fortsetzung — die nördliche ist ja leider auf immer verhüllt! — scheint schon am Südende des Neißegrabens wieder eine schärfere Linksschwenkung zu beginnen, der Graben selbst endet mit der flachen Rechtsbeugung, die er nachzeichnet! Alsbald brechen auch wieder Hornblendegesteine auf, die der Umbiegung folgen. Südwärts weiter schreitend, nähert man sich der Brüner Eruptivmasse und findet — immer auf wichtigen Strukturgrenzen — zum drittenmal den sonst so seltenen Syenit, mit ihm Diorite, Gabbros, Serpentine und einen Granit von aberranter Zusammensetzung.

Ja noch mehr: Nur noch an einer zweiten Stelle finden sich im varistischen Gebirge Mitteleuropas größere Massen des eigentümlichen quarzarmen, aber an saurem Orthoklas reichen Tiefengesteins Syenit: Es ist die zweite große Umbiegungszone des alten Faltenbogens, die Schwenkung der sudetischen in die sächsische Richtung, die dem Meißener Syenitmassiv seine Stelle gibt.

Und wie sich an das Syenitmassiv von Glatz-Reichenstein der Kreidegraben des Neißetales ansetzt, die Grenzzone verdeckend und dadurch betonend, so greift von den Rändern des Meißener Syenitmassivs her die große Kreidesenke des Elbtals nach SO, auch sie rechts „überschoben“ (Hohnsteiner Überschiebung), links sacht von dem sächsischen Gebirge herabsinkend.

So sieht man, daß enge und besondere Beziehungen den Bau des Gebirges verknüpfen mit der Form seiner plutonischen Füllungen, daß aber über die Form hinaus der Gesteinsinhalt beeinflußt wird: Im Bereiche einer seltenen Struktur erscheinen seltenere Magmen — Serpentin, Gabbro, Syenit —, während Granit, sonst der ständige Begleiter tiefentblöfter Faltengebirge, zurücktritt.

27) Fr. Kossmat, Über die Tektonik des Gneisgebietes im westlichen Erzgebirge. Zentralbl. f. Min., Geol. u. Pal. 1916, S. 135 und 158.

28) H. Cloos, Geologie der Schollen . . . , S. 66—70, 1920.

29) Dies gilt z. B. auch von gewissen Stellen in den Ostsudeten. Der Marmor von Wolmsdorf bei Landeck liegt als Tafel flach zwischen Glimmerschiefern. Durch eingehende Aufnahmen konnte ich in beiden Gesteinen sehr starke Faltungen und Überfaltungen, verbunden mit Streckungen, nachweisen; Marmor und Schiefer sind förmlich ineinander verknüpft, und die scheinbar ungestörte Lagerung ist in Wirklichkeit der Ausdruck höchst gesteigerter, d. h. übergelegter und vorgewalzter Faltung.

30) Außer den Beispielen, die ich vor kurzem an anderer Stelle genannt habe (Geologie der Schollen, S. 105 ff., 1920), berichtet dies

z. B. Erich Kaiser, Der Eläolithsyenit der Serra di Monchique im südlichen Portugal. N. Jahrb. f. Min., Geol. u. Pal., Beilage, Bd. XXXIX (Festband Bauer), S. 262. — Wichtige Mitteilungen über den Intrusionsmechanismus von Tiefengesteinen versprechen auch des gleichen Verfassers Beobachtungen während des Krieges in Südwestafrika. (Vorläufiges in den Monatsber. Deutsch. Geol. Ges. 1920, S. 50—76, sowie Abhandl. der Gießener Hochschulgesellschaft, II, S. 1—58, 1920.)

31) H. Cloos, Der Erongo, S. 81, Fig. 10, und S. 92, Fig. 13, 1919, sowie Profil I und IV am Schluß.

Prof. Schneiderhöhn in Gießen, der einzige Geologe, der außer mir das Erongogebirge näher kennengelernt hat, schreibt mir freundlichst (4. Juli 1920), daß er sich in der Deutung des eigenartigen mechanischen Verbandes von Granit und Schale „völlig zu meinen Anschauungen bekennt“. Bei der Bedeutung der dortigen Verhältnisse für die Lehre vom Intrusionsmechanismus ist es vielleicht nicht unnötig, diese Übereinstimmung hervorzuheben. Sehr interessante Beiträge zum gleichen Thema versprechen auch die Untersuchungen des Otaviberglandes von Schneiderhöhn selbst.

32) K. Dalmer, Die westerzgebirgische Granitmassivzone. Zeitschr. f. prakt. Geol., Bd. VIII, S. 297 ff., 1900.

33) Blätter Eibenstock, Falkenstein, Schneeberg, Auerbach, Kircheng der geologischen Spezialkarte von Sachsen, Leipzig.

34) Ein sehr ausführliches Verzeichnis von Untersuchungen über „Einschlüsse und Resorptionsvorgänge in Eruptivgesteinen“ gibt die Anm. 37 genannte Arbeit Erdmannsdörffers auf S. 205—209.

J. Barrell, U. St. Geol. Survey Prof. Paper 57, Taf. IX und X. Washington 1907.

35) R. A. Daly, Igneous rocks and their origin. New York 1914.

36) H. Cloos, Geologie der Schollen . . . , 1920.

37) Siehe jedoch die geologischen Beobachtungen in den vorwiegend petrographischen Arbeiten, die O. H. Erdmannsdörffer zitiert (Über Einschlüsse und Resorptionsvorgänge in Eruptivgesteinen. Fortschr. d. Min., Kristall. u. Petrogr., Bd. V., S. 173 ff. Jena 1910).

38) Eine wichtige Arbeit über Entstehung und Verhältnis konkordanter und diskordanter Massive ist diejenige von R. Lepsius, Über die wesentlichen Unterschiede zwischen diskordanten und konkordanten Granitstöcken. . . . Geol. Rundschau, Bd. III, S. 1—6. 1912. — Ihr widerspricht G. Berg, Granitstöcke und Gneissmassive. Geol. Rundschau, Bd. IV, S. 225—228, 1913.

39) Dieser ganze Teil des Massivs hat große Ähnlichkeit mit dem Druckkörper meiner Fig. 10 oben. Zuerst erfolgt plastische Umformung mit Vorbauchung der Wände, danach Zerreißen an diagonalen und (in der Natur) an parallel zum Druck liegenden Flächen.

40) K. Dalmer, Die westerzgebirgische Granitmassivzone. Zeitschr. f. prakt. Geol., Bd. VIII, S. 299, Fig. 52, 1900.

Geologische Übersichtskarte des Königreichs Sachsen. Leipzig 1908.

41) S. 88 der Barrellschen Arbeit.

42) Siehe z. B. die Fig. 48 in E. Haug, *Traité de Géologie*, 2. Aufl. Paris 1911.

43) Zusammenfassende Arbeiten über den Harz:

O. H. Erdmannsdörffer, Über Bau und Bildungsweise des Brockenmassivs. *Jahrb. d. Preuß. Geol. Landesanstalt*, Bd. XXVI, S. 379—405, Taf. 9, 1905.

Derselbe, Zur Geologie des Brockenmassivs. 7. Jahresber. d. niedersächs. geol. Ver. zu Hannover 1914, S. 71—90, Taf. 5.

Derselbe, Die Einschlüsse des Brockengranits. *Jahrb. d. Preuß. Geol. Landesanstalt*, Bd. XXXII, 2, S. 311, Taf. 11—16, 1911.

Derselbe, Erläuterungen zu Blatt Harzburg der geologischen Spezialkarte von Preußen, 2. Aufl. Berlin.

Geologische Spezialkarte von Preußen usw. Blätter Harzburg (2. Aufl.), Vienenburg, Goslar, Zellerfeld, Riefensbeck, Lutter a. B., Seesen, Zorge, Beneckenstein, Hasselfelde u. a.

Geognostische Übersichtskarte des Harzgebirges. Zusammen- gestellt von Dr. K. A. Lossen . . . 1:100000.

Zum Verständnis dieses Abschnittes ist die Lossensche Über- sichtskarte erwünscht und ausreichend.

Obwohl ich den Harz im Laufe von zwölf Jahren auf zahlreichen Begehungen geologisch kennengelernt habe, will ich hier keine eigenen Forschungen geben, sondern nur gewissermaßen Ergebnisse der ausgezeichneten Untersuchungen O. H. Erdmannsdörffers, ergänzt durch einige kleine Messungen im Granit, in die Sprache der vorliegenden Darstellung und Anschauung übersetzen. Dementsprechend beschränkt sich auch die Darstellung auf einige Hauptzüge. Besondere Aufmerk- samkeit ist wohl künftig noch der Frage zu widmen, ob die mehrfach nachgewiesenen Spuren eines Zusammenschubes in der Nordost—Süd- westrichtung auch noch aus der mittleren Druckrichtung abzuleiten sind oder eine selbständige Erscheinung darstellen.

44) Die Spaltfläche (von den Arbeitern kurzweg „Spalte“ ge- nannt) ist hier neben dem flachen Lager so ausgeprägt, daß der Stein fast ausschließlich nach ihr gebrochen wird. Die Querteilung (sehr bezeichnend „Unspalte“, auch „Hirn“- oder „Hornseite“ genannt) liefert nur ganz höckerige, unregelmäßige Flächen, und auch diese nur widerwillig und unzuverlässig.

Ich fand im einzelnen umstehende Zahlen (Magnet.).

Die unterstrichenen Zahlen sind in frischen Brüchen während des Betriebes und nach eingehender Besprechung mit den Arbeitern ge- messen.

Die Querflächen sind meistens dick mit Brauneisen tapeziert, erinnern oft lebhaft an die Querflächen bei Strehlen, während die Spalt- flächen meist geschlossen sind.

Das Lager ist meist mäßig, oft schlecht entwickelt und fällt flach südlich ein, mehrfach von Schlierenbändern parallel begleitet.

Ort	S		Q bzw. K	
	Streichen	Fallen	Streichen	Fallen
Brüche im SW des Hurleiskopfes	<u>75—80</u>	—	<u>165</u>	—
	<u>90</u>	85 S	<u>170</u>	—
	<u>90</u>	80 S	<u>165</u>	70 O
	<u>75—80</u>	90	<u>170</u>	80
	<u>75</u>	—	<u>165</u>	—
	<u>75—80</u>	—	<u>165</u>	—
	<u>85</u>	—	<u>170</u>	—
	<u>85</u>	85 S	<u>150—155</u>	—
	<u>90</u>	—	<u>160</u>	80 O
	<u>85</u>	80 S	<u>160</u>	80 O
Brüche am Großen Birnenkopf	<u>80</u>	—	—	—
	<u>75—85</u>	—	—	—
Südlicher Bruch an den Wolfsklippen	<u>45—50</u>	—	—	—
	<u>30</u>	—	<u>115—120</u>	—
	<u>40</u>	—	<u>115</u>	—
	<u>80(?)</u>	—	<u>140</u>	—
Bruch über dem vorigen	<u>45</u>	—	<u>125—130</u>	—
	<u>55</u>	—	—	—
Bruch schräg darüber	<u>90</u>	75 S	<u>170</u>	90
	<u>50</u>	—	<u>160</u>	—
	<u>90</u>	—	<u>130</u>	70 O
	<u>90</u>	—	<u>170</u>	—
	<u>90—100</u>	—	—	—
	<u>95</u>	—	—	—
Nächst östlicher Bruch	<u>80</u>	75 S	<u>165—160</u>	70 O
	<u>80</u>	70 S	<u>50(?)</u>	—
	<u>80</u>	70 S	—	—
Nächst östlicher Bruch	<u>55</u>	—	—	—
Nächst östlicher Bruch	<u>70</u>	90	—	—
	<u>70</u>	90	—	—
	<u>70</u>	80 S	—	—
	<u>55</u>	—	—	—
	<u>65</u>	—	—	—
	<u>60</u>	—	—	—
	<u>60</u>	—	—	80 O
	<u>70</u>	—	—	80 O
	<u>60—65</u>	—	<u>160</u>	—
	<u>65</u>	—	<u>155</u>	—
	<u>70</u>	—	<u>150</u>	—
	<u>80</u>	—	<u>160</u>	—
	<u>80</u>	—	<u>160</u>	—
	Letzter Bruch an den Wolfsklippen	<u>73</u>	—	<u>110</u>
<u>70</u>		—	<u>110</u>	—
<u>65—80</u>		—	<u>160</u>	—

45) Siehe z. B. L. Beushausen, Das Devon des nördlichen Oberharzes. Abhandl. d. Preuß. Geol. Landesanstalt, N. F., Heft 30, S. 228. Berlin 1900. Es wäre wichtig, festzustellen, nach welcher Seite diese Resultante geneigt ist (wohl nach NW?) und ob ihr die Mehrzahl der Rutschstreifen parallel geht.

46) O. H. Erdmannsdörffer, Der Eckergneis im Harz. Ein Beitrag zur Kenntnis der Kontaktmetamorphose. Jahrb. d. Preuß. Geol. Landesanstalt, Bd. XXX, 1, S. 324—388, 1909.

47) Hierbei bleibt die Unterlage des Granits, der Eckergneis, ungefalteter, während alle höheren, insbesondere die über dem Granit liegenden Sedimente eine starke Faltung erleiden. Erdmannsdörffer erklärt die Schonung der tieferen Schichten damit, „daß im Gebiet des Eckergneises der Granit in einen verhältnismäßig tief gelegenen Schichtenkomplex drang, der noch nicht oder nur wenig von der Faltung ergriffen war . . .“. In die tektonische Sprache der vorliegenden Arbeit übersetzt, würde dieser Gedankengang etwa besagen, daß die Aufschiebung oder „Überschiebung“ der plastischen Granit-schmelze längs einer Abscherungsfläche erfolgte. So ist denn auch das Ergebnis demjenigen tektonischer Abscherung über ungefalteter Unterlage, wie z. B. im Basler Kettenjura, sehr ähnlich. Nur daß die zusammengeknäuelten Triasmergel des Jura durch einen Granitkern vertreten werden und der Granit jünger ist als die Hauptfaltung.

48) Siehe die übersichtliche Darstellung des Problems und seiner Grundlagen in E. Kayser's Lehrbuch der allgemeinen Geologie, 5. Aufl., S. 785—809, bes. S. 799. Stuttgart 1918.

49) O. Grupe, Studien über Scholleneinbrüche und Vulkan-ausbrüche in der Rhön. Jahrb. d. Preuß. Geol. Landesanstalt, Bd. XXXIV, 1, S. 407—476. 1913.

50) Die Messung der tertiären Richtungen war natürlich viel schwieriger als die der carbonischen, da man dort nur ausnahmsweise schon im Niveau der Gänge steht und die tektonische Stellung mehrfach nur aus der reihenförmigen Anordnung von Schloten ablesen kann. Doch habe ich mich soweit wie möglich auch hier an die Gänge gehalten. Solche finden sich in großer Zahl und Schärfe auf dem Grenzgebiet von Thüringen und Franken (Blätter Rieth, Rodach, Römheld, Heldburg der preußischen Spezialkarte), im Siebengebirge (geologische Karte von H. Laspeyres in den Verh. d. Naturh. Vereins der preußischen Rheinlande, Westfalen usw., Bd. LVII, 1900). Spärlicher in der Rhön und dem nördlich folgenden hessisch-hannoverschen Berglande (auf zahlreichen Spezialkarten der Preuß. Geol. Landesanstalt, sowie in Arbeiten von Grupe, Schwantke, Kraiss und vielen anderen dargestellt). Ein kleiner scharfer Gang setzt durch die Stopfeskuppe auf Blatt Eisenach. Während ich für die carbonische Gangrose die Länge der Gänge verwendet habe, mußte ich hier die Zahl der Vorkommnisse einsetzen; dabei habe ich die Anzahl der fränkischen Basaltgänge, um diese Ausnahmeverhältnisse nicht ungebührlich hervor-

treten zu lassen, durch fünf geteilt. Da außerdem gerade fast alle wichtigsten Gangspalten durch ihre eigenen Ausflüsse noch verdeckt sind (Vogelsberg, Rhön, Cassel, Westerwald usw.), so gibt diese tertiäre Gangrose nicht das Mengenverhältnis, sondern nur die Art der Verteilung an.

51) L. van Werveke, Die Entstehung des Rheintales. Mitt. Philomath. Ges. in Elsaß-Lothringen, Jahrg. 5, S. 49ff., 1897.

Die kleinen Modelle des Rheintalgrabens, die sich im Tafeljura finden, sind im Anschluß an van Werveke auch durch v. Bubnoff und Buxtorf nach einem ähnlichen Prinzip erklärt worden. (Siehe die übersichtliche Darstellung bei v. Bubnoff, Über Keilgräben im Tafeljura. Jahresber. und Mitt. d. oberrhein. geol. Vereins, N. F., Bd. IX, S. 70—73. Karlsruhe 1920.) „Buxtorf und van Werveke erklären die Verhältnisse an Hand eines Versuches: Ein parallel zur Rückenlinie zusammengedrücktes Buch zeigt klaffende Spalten zwischen den Blättern — diese entsprechen den Keilgräben“ (v. Bubnoff, S. 70). Der Einwand Alb. Heims (Geologie der Schweiz, 1919, S. 565), daß diese Erklärungen das Vorhandensein vertikaler Trennungsflächen voraussetzen, wird durch unsere Beobachtungen entkräftet. Denn im Granit vermag derselbe Seitendruck die Fugen zu bilden und zu öffnen.

Ich möchte die Gelegenheit benutzen, um neben der kleinen, eben genannten Studie v. Bubnoffs auf eine andere, noch im Druck befindliche Arbeit des gleichen Verfassers nachdrücklich hinzuweisen: Die herzynischen Brüche im Schwarzwald, ihre Beziehung zur carbonischen Faltung und ihre Posthumität; N. Jahrb. f. Min., Geol. u. Pal., Beilage, Bd. XLV, S. 1—120, 1921. Diese Schrift bringt zahlreiche neue Beobachtungen aus dem südlichen Schwarzwald, die als ebenso viele Beweise für meine Anschauungen gelten können. Auch die Deutungen v. Bubnoffs berühren sich an vielen Stellen mit meinen, doch aus gänzlich andersartigem Material gewonnenen. Ich habe vor Jahren das Manuskript durchgesehen und glaube, in meine späteren Arbeiten manche Gedanken und Anregungen daraus übernommen zu haben. Einen Auszug unter dem Titel „Beiträge zur Tektonik des Schwarzwaldes“ bringen die *Eclogae Geologicae Helvetiae*, XIV, S. 243.

52) An vielen Stellen wurde sogar absichtlich vereinfacht. So, indem ich bei Betrachtung der Klüfte die nachträglichen, nicht mit dem Werdegang des Massivs zusammenhängenden übergang. Natürlich gibt es in jedem Steinbruch solche.

Aber sie sind merkwürdig spärlich neben dem geordneten Grundnetz der primären. Offenbar, und das ist eines der merkwürdigsten Ergebnisse meiner Ermittlungen, sind die großen Granitmassen mit dem Augenblick der Erstarrung im wesentlichen fertig und werden später nur noch wenig verändert. Absichtlich übergangen habe ich ferner bei Besprechung der Klüfte die Schrumpfung. Weiß man doch von Basalt, Porphyr und anderen an der Erdoberfläche erstarrten Schmelzen, daß sie von einem sehr dichten Kluftnetz durchzogen sind

und daß dies durch den Volumenverlust bei der Abkühlung und Erstarrung entsteht. Es ist also bestimmt anzunehmen, daß auch Granit schrumpft. Aber diese Schrumpfung kann durch seitlichen Druck kompensiert werden. Sie kommt, wenn dieser Druck scharf einseitig gerichtet ist, nur in einer einzigen Richtung zur Geltung, der Längsrichtung des Druckes selbst. Man könnte daher das Aufklaffen der „Querflächen“ in unseren Granitmassiven bloß als Folge und Ausdruck der (durch Seitendruck gerichteten) Schrumpfung ansehen. Dagegen spricht aber der meist zu hohe Betrag des Klaffens, sowie die bekannte Tatsache, daß ebensolche Klüfte mit gleich starker Dehnung in granitfreien Faltengebirgen sich öffnen (s. S. 30).

Gänge, aus jüngeren Schmelzen oder aus Lösungen gebildet, habe ich als tektonische Indikatoren ersten Ranges in Anspruch genommen. Zeigen sie doch eine besonders strenge Beschränkung auf bestimmte Richtungen, nämlich auf die Druckrichtung selbst und demnächst auf die von ihr halbierten „Zugquadranten“. Hiervon gibt es zunächst zwei Hauptausnahmen. Erstens sind die allerersten, noch aus granitischem Material bestrittenen Gänge, die Aplite und Pegmatite, wenig regelmäßig, zumal sie obendrein leicht mit Schlieren verwechselt werden oder durch Übergänge verbunden sein können. Die Gründe hierfür habe ich schon oben angedeutet. Die zweite Ausnahme liegt im gelegentlichen Auftreten von Gängen auf der Fläche *S*; also senkrecht zum Druck. Scharen solcher Beispiele zeigen gewisse Teile des Schwarzwaldes. Hierfür kommen zunächst zwei Erklärungen in Betracht. Entweder fanden diese Gänge ihren Platz wirklich unter Überwindung des Seitendruckes. Dies kann geschehen, wenn sie aus einer Unterzone höheren Druckes in eine obere Zone niederen Druckes emporgepreßt werden; dies würde auch die „wilden“ Aplite erklären. Oder aber, zur Bildungszeit dieser Gänge herrschte bereits eine andere Druckrichtung, mehr oder weniger senkrecht auf der ursprünglichen. Für diese Möglichkeit liefert die ungleiche Druckrichtung in den beiden niederschlesischen Granitmassiven ein wichtiges Beispiel (s. S. 73 u. 80). Auch die aus vielen Gebieten bekannte „Querfaltung“ ist hier zu nennen. (Siehe hierzu den Zusatz S. 95.)

Für die Öffnung von Spalten ist ferner die gleichzeitige Aufwölbung von großer Bedeutung. Dies lehrte bereits der technische Versuch (Fig. 10, oben), für den die Verhältnisse im östlichen Riesengebirge ein natürliches Gegenstück bilden (Fig. 3). Ist doch mit der Vorbauchung einer äußeren Krustenzone eine bedeutende Flächenvergrößerung derselben verbunden. Diese kann das Aufklaffen von Spalten wesentlich unterstützen und kann Spalten auch außerhalb der engeren Zugquadranten zum Klaffen bringen. Auch in diesem Falle ist der Druck in der tieferen Zone stärker als in der höheren.

Eine weitere Einschränkung betrifft den Begriff einer Zug- oder Dehnungsrichtung. Niemand wird erwarten und verlangen, daß in dieser Richtung ausschließlich Dehnung, niemals Druck hervortrete.

Ist es doch keine drucklose Richtung, sondern nur eine Richtung „geringsten Druckes“, der beim Nachlassen des Hauptdruckes sehr wohl hervortreten kann. Niemand wird also einen Widerspruch darin erblicken, wenn auf einer und derselben Linie kurz nacheinander Anzeichen für Zug und für Druck sichtbar werden. (Siehe z. B. diesbezügliche Bemerkungen in v. Bubnoffs oben genannter Arbeit, 1921, S. 64, für den Harz, sowie bei Stille, Injektivfaltung und damit zusammenhängende Erscheinungen, Geol. Rundschau, Bd. VIII, S. 100, Leipzig 1917, für Ostafrika.)

53) Die Erforschung dieses Gebietes hat Heinrich Stenzel in Breslau in Angriff genommen und aus dem östlichen Teil bereits hoffnungsvolle Ergebnisse mitgebracht. Noch enger mit der Schwengungszone des alten Faltenbogens verwachsen ist das stärker gedrückte und von Gängen förmlich durchschwärmte Meißener Syenitmassiv. Über gewisse mögliche Druckwirkungen an solchen Knickstellen von Faltengebirgen hat Kossmat für die Alpen und für das varistische Gebirge wichtige Anregungen gegeben. (Mitt. d. Geol. Ges. Wien, Bd. VI, S. 61, 1913, und Zentralbl. f. Min. usw., 1916, S. 135 und 158.)

54) Ed. Suess, Über Zerlegung der gebirgsbildenden Kraft. Mitt. d. Geol. Ges. Wien, Bd. VI, S. 13, 1913.

55) Auf das Verhältnis von Bruch und Abscherung in seiner Bedeutung für die vorliegende Frage bin ich noch besonders durch Beobachtungen von Dr.-Ing. Gümbel, Charlottenburg, an Granatsplittern aufmerksam geworden (Zeitschr. des Vereins deutscher Ingenieure, 1916, Sonderabdruck ohne Seitenzahl): „Splitter von flußeisernen Granaten zeigen bei aller Verschiedenheit der äußeren Begrenzung in einem eine große Regelmäßigkeit, nämlich in dem Winkel, in welchem sie in der Ebene senkrecht zur Achse splintern. Dieser Winkel beträgt, mit Feldmitteln gemessen, $\pm 45^\circ$ gegen den Fahrstrahl. Die Trennungsfäche zeigt in allen Fällen, daß die Trennung durch Abscheren erfolgt ist. Radiale Einrisse und Splitterungen, welche man zunächst hätte erwarten sollen, kommen bei flußeisernen Granaten, bei denen der Deformationsweg der Dehnung bis zum Bruch gegenüber dem Deformationsweg der Abscherung sehr groß ist, nicht vor. Bei gußeisernen Granaten, bei welchen die Bruchdehnung des Materials nur gering ist, treten radiale Splitterungen auf.“

Den Hinweis auf die Gümbelsche Arbeit verdanke ich der Freundlichkeit von Prof. Waetzmann in Breslau.

56) Beobachtungen, die ich in der Nachbarschaft der nach NW streichenden Südwestküste und der Südostküste (Mozambique) anstellen konnte, sind dieser Auffassung sehr günstig.

57) Die Beziehungen zur Tektonik der Schollengebirge brauche ich nach den zahlreichen Hinweisen, die ich ihr, besonders in den Abschnitten I. 4 und II. 3 gewidmet habe, nicht mehr zusammenzufassen. Ein erfreuliches und für die Brauchbarkeit meiner Auffassung

günstiges Zeichen scheint es mir, daß sich bei sinngemäßer Anwendung der Ergebnisse im tiefvulkanischen Gebiete auf die Schollenbewegungen die wichtigsten Widersprüche zwischen den vorhandenen Theorien automatisch lösen. Stand doch z. B. den Auffassungen Joh. Walthers und W. Salomons (zitiert in Anm. 18), die dem seitlichen Zusammenschub die führende, fast ausschließliche Rolle einräumten, scheinbar unversöhnlich die Beweisführung Quirings (Anm. 17) gegenüber, daß das Bewegungsbild der Schollengebirge starke und meßbare Distractionen bestimmen. Dieser Widerspruch schwindet, wenn man, wie oben geschehen, die Zerrung nicht als einen bloßen Zerfall, sondern als ein „Zerdrücktwerden“ ansieht. Insofern auch Quiring für den „gerichteten“ Zerfall seitlichen Druck zu Hilfe nimmt, kann man sagen, daß sich meine Auffassung von der seinen nur durch die sprachliche Einkleidung, vielleicht den prozentualen Anteil von Druck und Schwerkraft unterscheidet. Selbst zu einer so stark auf Faltungstektonek gestellten Auffassung wie derjenigen H. Stilles (Injektivfaltung und damit zusammenhängende Erscheinungen, Geol. Rundschau, Bd. VIII, S. 89. Leipzig 1917), läßt sich so von der reinen „Zerrung“ her eine Brücke schlagen. Die Übereinstimmung scheint beinahe vollständig, wenn man von der Druckrichtung absieht. Diese aber, oder besser die jeweilige Richtung stärksten Druckes und diejenige der resultierenden Bewegung, ist noch von Fall zu Fall sorgfältig zu prüfen. Hierzu dürften neben dem durch Salomon wieder stark angeregten Studium der mechanischen Bewegungsspuren die Verteilung von Gängen (Lage des Zugquadranten) und, wo dies möglich, vor allem die Beziehung zu gleichzeitigen Granitmassiven eine wichtige Rolle spielen.

58) Eine wissenschaftliche Gesamtdarstellung gibt U. Grubemann, Die kristallinen Schiefer, 2. Aufl. Berlin 1910; eine knappe klare Einführung der Aufsatz von L. Milch, Die heutigen Ansichten über Wesen und Entstehung der kristallinen Schiefer. Geol. Rundschau, Bd. I, S. 36. Leipzig 1910.

59) F. Becke, Mineralbestand und Struktur der kristallinen Schiefer. Denkschr. Math.-Naturw. Klasse K. Akad. d. Wiss., LXXV. Wien 1903.

60) Der Kopfseite und Querfläche des Granits entspricht bei den kristallinen Schiefen der Querbruch. Auch dieser wird von Gängen bevorzugt. Der Spaltseite und dem Lager entsprechen der Haupt- und Längsbruch und die ihm parallel gehenden Klüfte.

61) Neben W. v. Lozinsky, Vulkanismus und Zusammenschub, Geol. Rundschau, Bd. IX, S. 65, Leipzig 1918, vor allem die große Arbeit von Walther Penck, Der Südrand der Puna de Atacama (Nordwest-Argentinien), Abhandl. d. Math.-Phys. Klasse d. Sächs. Akad. d. Wiss., Bd. 37, Nr. 1, Leipzig 1920. Beide mit reichen Literaturangaben. Sehr anregend und voll von Material für unsere Probleme scheint mir auch die Arbeit von Radim Kettner „Über die Eruptions-

folge und die gebirgsbildenden Phasen in einem Teile des südöstlichen Flügels des Barrandiens. (Ein Beitrag zur Kenntnis der variskischen Gebirgsbildung in Mittelböhmen.)“ Jahrb. d. K. K. Geol. Reichsanstalt, Bd. 67, S. 237 und Tafel III. Wien 1917. Es wäre z. B. wichtig, in den von Kettner für posttektonisch gehaltenen Graniten seines Gebietes Spuren des Gebirgsdruckes nach unseren Methoden aufzusuchen und daran die von ihm vermutete Abhängigkeit der Granitförderung von einem Querfaltungsdruck nachzuprüfen.

An der heutigen Erdoberfläche aufgeschlossen sind jene tiefsten Stockwerke des „Vulkanismus“ in den kristallinen Kernen alter Kontinente; in Finnland hat ihnen Sederholm seine klassischen Forschungen gewidmet. G. Gürich sieht auch an gewissen Stellen Schlesiens schon den autochthonen Übergang von Sedimenten der Erdkruste in den Gneis ihrer Unterlage (s. die Mitteilungen „Zur Geologie der Striegauer und Jenkauer Berge“, Jahrb. d. Kgl. Preuß. Geol. Landesanstalt für 1915, Bd. 36, Teil II, 1917, mit Angabe der älteren Arbeiten). Auf Gürichs unzählige wertvolle und scharfe Beobachtungen, besonders auch zu dem Thema „Granit und Gneis“, wird gerade in Schlesien jeder Geologe immer wieder dankbar zurückgehen. War doch Gürich auch der erste, der in Schlesien der Teilbarkeit in Graniten Aufmerksamkeit geschenkt und dadurch auch meine Untersuchungen mit beeinflußt hat (a. a. O.).

62) O. Ampferer, Über das Bewegungsbild von Faltegebirgen. Jahrb. d. K. K. Geol. Reichsanstalt, Bd. LVI, S. 539. Wien 1906.

63) Um nicht mißverstanden zu werden: Ich verstehe unter fließenden Bewegungen alle diejenigen, die ohne Bruch vor sich gehen. Hierunter sind also auch die Bewegungen des bereits sehr zähen, erstarrungsnahen Granitmagmas mit inbegriffen. Daß diese der tektonischen Richtkraft ausgesetzt sind, liegt auf der Hand. Eher könnte man Zweifel hegen angesichts „Strömungen“ in einer früheren, „dünnflüssigen“ Phase. Herrscht hier statischer (allseitiger) oder gerichteter (einseitiger) Druck? Dies hängt bekanntlich nicht vom Grade der Dünnflüssigkeit ab, sondern von der Frage, ob ein Ausweichen möglich ist (einseitiger Druck) oder nicht (statischer Druck; vgl. z. B. U. Grubenmann, Die kristallinen Schiefer, 2. Aufl., S. 56—57. Berlin 1910). Wir müssen also in einem Granitmassiv, das sich unter seitlichem Zusammenschub bildet und diesem Druck nach oben oder den Seiten ausweicht, in jedem Stadium gerichteten Druck annehmen. Die Bewegungen, die sich im Innern einer solchen Granitmasse vor der Verfestigung abspielen, kann man sich vorstellen, wie diejenigen eines Teiges in einer Hohlkugel aus Gummi, die von zwei Seiten flachgedrückt oder von den dazu senkrechten Seiten in die Länge gezogen wird. Denkt man sich in diesem Brei (der Versuch läßt sich mit Gipsbrei nachahmen und dann fixieren) fremde Einschlüsse, so werden diese ungefähr in der Längsrichtung des Deformationskörpers angeordnet werden. So etwa kann man sich die Beziehung

gerichteter Schollenketten (s. oben S. 16) zum Seitendruck vorstellen. Natürlich wird ihre Richtung die Druckrichtung nur sehr verschwommen abbilden und neben unmittelbar „tektonischen“ Strömungen ist mit zahlreichen anderen Bewegungsformen zu rechnen.

Zusatz. Schon während der Drucklegung hat das S. 91 genannte Problem der im Faltenstreichen verlaufenden Gänge, eines der schwierigsten im Rahmen unserer Betrachtungen, eine Lösung gefunden. Wie Messungen im Frühjahr 1921 ergaben, kam tatsächlich in großen Teilen des nördlichen Schwarzwaldes der Druck während der Granitzeit nicht mehr von SO, sondern von SSW. Die Spaltfläche (der „Stehgang“ der badischen Steinbrecher, im Gegensatz zum „Hebgang“ [Lager]) streicht OSO (100 bis 120°). Die Scharen nordnordöstlicher Gänge liegen also auch hier in der Richtung des gleichzeitigen Gebirgsdruckes. Diese Druckrichtung ist aber dieselbe, die wir (oben, S. 70) für die Aufspaltung des gleichgerichteten Rheingrabens herangezogen haben! Dadurch erhält die Annahme W. Deekes, daß der Rheingraben in seiner Anlage mit jenen gleichgerichteten Gängen in Beziehung stehe, ebenso wie so mancher verwandte Gedanke in der „Geologie von Baden“ (Berlin 1916/17), eine kausal-mechanische Unterstützung, welche die weitesten Ausblicke eröffnet.

Nachwort.

Bei den umständlichen und zeitraubenden Untersuchungen, die dieser Arbeit zugrunde liegen, haben mich eine Reihe jüngerer Freunde und Schüler der Geologie selbstlos unterstützt. Dr. Erich Bederke hat im Laufe von drei Jahren alle Freuden und Mühen geologischen Forschens mit mir geteilt. Fritz Herzog hat unsere Richtlinien in das Schollengebirge des Neißegrabens hinein verlängert, Stefan Lopianowski aus dem Striegauer Granit unerwartete Ergebnisse mitgebracht. Seine mathematische Begabung hat uns Heinrich Stenzel an vielen Stellen dienstbar gemacht und zum eigenen Arbeitsgebiet den Lausitzer Granit gewählt. Fr. K. Drescher war mir bei der Aufnahme der Strehleiner Spezialkarte behilflich. In letzter Zeit ist noch Dr. S. v. Bubnoff in unseren Kreis eingetreten.

Ihnen allen und den Erinnerungen an frohe und ernste Stunden und Jahre im schlesischen Gebirge und im Breslauer Institut widme ich dankbar diese Frucht gemeinsamer Arbeit.

Breslau, im Februar 1921.

Hans Cloos.

Verlag von **FRIEDR. VIEWEG & SOHN** in Braunschweig.

Die Entstehung der Mondkrater

Von **Dr. Alfred Wegener**

Privatdozent der Geophysik an der Universität Hamburg.

(Sammlung Vieweg Heft 55).

Mit 9 Abbildungen im Text und auf 3 Tafeln. 48 Seiten. gr. 8°. 1921.

Mk. 4,80.

Geologischer Führer durch die Lüneburger Heide

Von **Dr. J. Stoller**

Bezirksgeologe in Berlin.

X, 168 Seiten. Taschenformat. 1918. Mit 8 Karten und 38 Textfiguren.

Gebunden Mk. 6,70.

Geologischer Bau und Landschaftsbild

Von **Prof. Dr. Karl Sapper**

Professor der Geographie an der Universität Würzburg.

(Die Wissenschaft, Bd. 61). Mit 16 Abbildungen. VII, 208 Seiten. 8°. 1917.

Mk. 7,20, gebunden Mk. 8,60.

Die Verwerfungen

(Paraklase, exokinetische Spalten)

für Geologen, Bergingenieure und Geographen

Von Dr. mont. h. c.

Hans Höfer Heimhalt.

XII. 128 S. gr. 8°. 1917. Mit 95 Abbildungen. Mk. 5,60.

Die Entstehung der Kontinente und Ozeane

Von **Dr. Alfred Wegener**

Privatdozent der Geophysik an der Universität Hamburg.

(Die Wissenschaft Bd. 66). 2. gänzlich umgearbeitete Auflage.

Mit 33 Abbildungen. VIII, 135 Seiten. 1920.

Mk. 12,—, gebunden Mk. 14,40.

Bisher erschienene Hefte der „Sammlung Vieweg“.

- Heft 11. Dr. E. Przybyllok: *Polhöhen-Schwankungen*. Mit 8 Abbildungen. M. 1,60.
- Heft 12. Professor Dr. Albert Oppel-Halle a. S.: *Gewebekulturen und Gewebepflege im Explantat*. Mit 32 Abbildungen. M. 3,—.
- Heft 13. Dr. Wilhelm Foerster-Berlin: *Kalenderwesen und Kalenderreform*. M. 1,60.
- Heft 14. Dr. O. Zoth-Graz: *Über die Natur der Mischfarben auf Grund der Undulationshypothese*. Mit 3 Textfig. und 10 Kurventaf. M. 2,80.
- Heft 15. Dr. Siegfried Valentiner-Clausthal: *Die Grundlagen der Quantentheorie in elementarer Darstellung*. Mit 8 Abbildungen. 3. erweiterte Auflage. 1920. M. 5,—.
- Heft 16. Dr. Siegfried Valentiner-Clausthal: *Anwendung der Quanten-hypothese in der kinetischen Theorie der festen Körper und der Gase. In elementarer Darstellung*. 2. erweiterte Auflage. Mit 5 Abbildungen. M. 5,60.
- Heft 17. Dr. Hans Witte-Wolfenbüttel: *Raum und Zeit im Lichte der neueren Physik*. Eine allgemeinverständliche Entwicklung des raumzeitlichen Relativitätsgedankens bis zum Relativitätsprinzip der Trägheitssysteme. Mit 18 Abbild. 3. Aufl. 1920. M. 2,80.
- Heft 18. Dr. Erich Hupka-Tsingtau: *Die Interferenz der Röntgenstrahlen*. Mit 33 Abbild. und 1 Doppeltafel in Lichtdruck. M. 2,60.
- Heft 19. Prof. Dr. Robert Kremann-Graz: *Die elektrolytische Darstellung von Legierungen aus wässrigen Lösungen*. Mit 20 Abbildungen. M. 2,40.
- Heft 20. Dr. Erik Liebreich-Berlin: *Rost und Rostschutz*. Mit 22 Abbildungen. M. 3,20.
- Heft 21. Prof. Dr. Bruno Glatzel-Berlin: *Elektrische Methoden der Momentphotographie*. Mit dem Bild des Verf. u. 51 Abbild. M. 3,60.
- Heft 22. Prof. Dr. med. et phil. Carl Oppenheimer: *Stoffwechselfermente*. M. 2,80.
- Heft 23. Dr. Alfred Wegener-Hamburg: *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*. 2. gänzlich umgearbeitete Auflage erschien als Bd. 66 unserer Sammlung „Die Wissenschaft“.
- Heft 24. Dr. W. Fahrion-Feuerbach-Stuttgart: *Die Härtung der Fette*. 2. Auflage in Vorbereitung.
- Heft 25. Prof. Dr. A. Wassmuth-Graz: *Grundlagen und Anwendungen der statistischen Mechanik*. Mit 4 Abbildungen. M. 2,80.
- Heft 26. Dr. A. Lipschütz-Bern: *Zur allgemeinen Physiologie des Hungers*. Mit 39 Abbildungen. M. 3,—.
- Heft 27. Prof. Dr. C. Doelter-Wien: *Die Farben der Mineralien, insbesondere der Edelsteine*. Mit 2 Abbildungen. M. 3,—.
- Heft 28. Dr. W. Fahrion-Feuerbach-Stuttgart: *Neuere Gerbmethoden und Gerbtheorien*. M. 4,—.
- Heft 29. Dr. Erik Hägglund-Bergvik (Schweden): *Die Sulfitablauge und ihre Verarbeitung auf Alkohol*. Mit 6 Abbild. und einer Tafel. 2. Auflage. M. 6,—.
- Heft 30. Dr. techn. M. Vidmar-Laibach: *Moderne Transformatoren-tragen*. Mit 10 Abbildungen. M. 2,80.
- Heft 31. Dr. Helnr. Faßbender-Berlin: *Die technischen Grundlagen der Elektromedizin*. Mit 77 Abbildungen. M. 3,20.
- Heft 32/33. Prof. Rudolf Richter-Karlsruhe: *Elektrische Maschinen mit Wicklungen aus Aluminium, Zink u. Eisen*. Mit 51 Abbild. M. 6,—.
- Heft 34. Obering. Carl Beckmann-Berlin-Lankwitz: *Haus- und Geschäfts-Telephonanlagen*. Mit 78 Abbildungen. M. 3,—.
- Heft 35. Dr. Aloys Müller-Bonn: *Theorie der Gezeitenkräfte*. Mit 17 Abbildungen. M. 2,80.

Bisher erschienene Hefte der „Sammlung Vieweg“

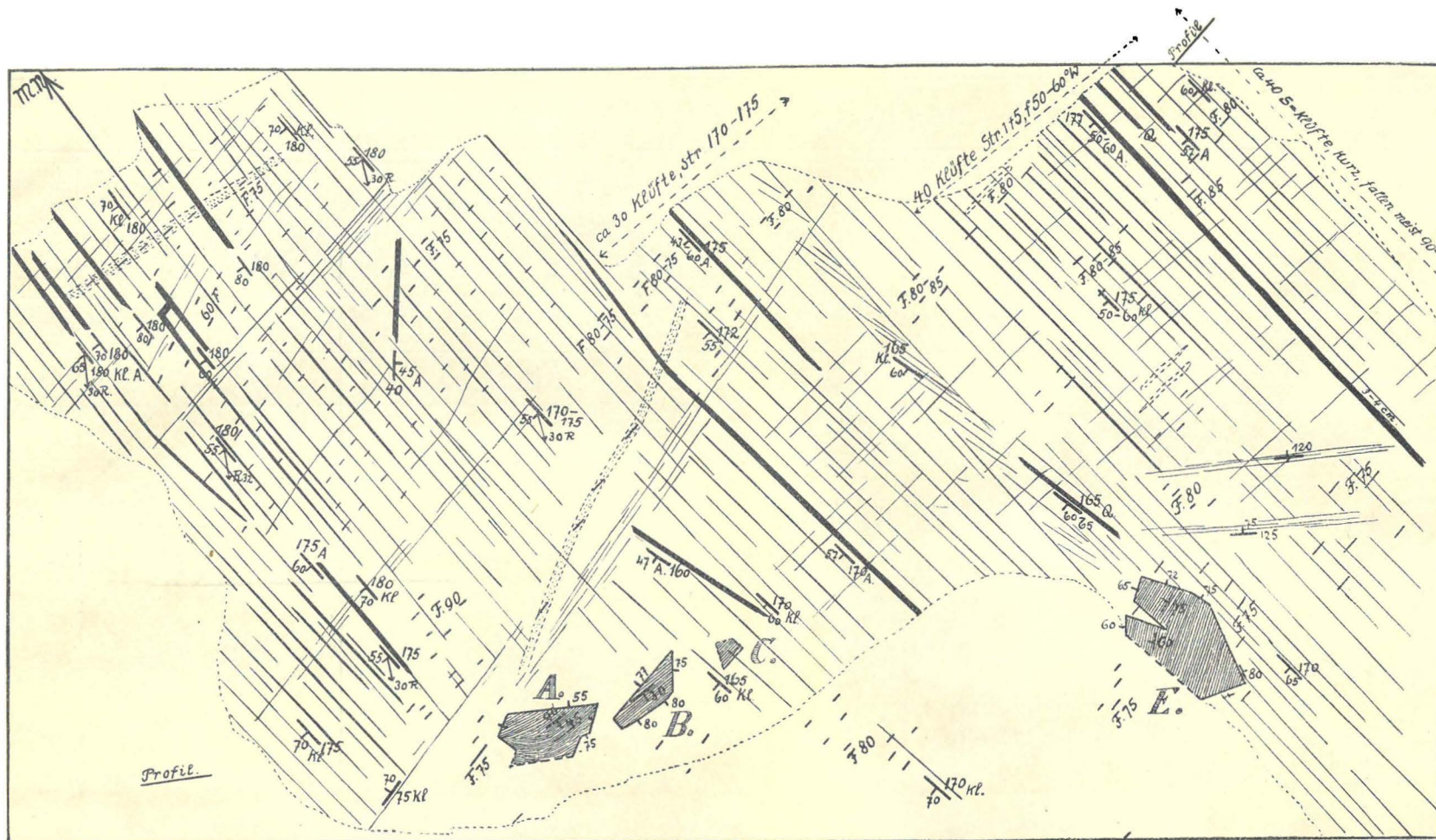
- Heft 36. Prof. Dr. W. Kummer-Zürich: *Die Wahl der Stromart für größere elektrische Bahnen.* Mit 7 Abbildungen. M. 2,80.
- Heft 37. Dr. Reinhold Rieke-Charlottenburg: *Die Arbeitsmethoden der Silikatchemie.* Mit 4 Abbildungen. M. 3,60.
- Heft 38. Prof. Dr. A. Einstein: *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie. (Gemeinverständlich.)* 12. Auflage. (51.–55. Tausend). Mit 4 Fig. und einem Bildnis des Verfassers. M. 4,—.
- Heft 39/40. Dr. Richard Grammel-Danzig: *Die hydrodynamischen Grundlagen des Fluges.* Mit 83 Abbildungen. M. 5,60.
- Heft 41/42. Ingenieur Georg Duffing-Berlin: *Erzwungene Schwingungen bei veränderlicher Eigenfrequenz und ihre technische Bedeutung.* Mit 23 Abbildungen. M. 5,—.
- Heft 43. Dr. Robert Schwarz-Berlin: *Feuerfeste und hochfeuerfeste Stoffe.* Mit 8 Abbildungen. M. 2,—.
- Heft 44. Dr. Iwan Döry: *Einphasenbahnmotoren.* Mit 75 Abbild. M. 6,—.
- Heft 45. Prof. Dr. K. Fajans, *Radioaktivität und die neueste Entwicklung der Lehre von den chemischen Elementen.* Mit 12 Abbildungen, und 11 Tabellen. 3. Auflage. M. 6,50.
- Heft 46. Dr. Bruno Alexander-Katz, *Quarzglas und Quarzgut.* Mit 43 Abbildungen. M. 3,—.
- Heft 47. Prof. Dr. G. Berndt, *Radioaktive Leuchtfarben.* Mit 28 Abbildungen im Text und auf 1 Lichtdrucktafel. M. 7,60.
- Heft 48. Dr. R. Fürth, *Schwankungserscheinungen in der Physik.* Mit 5 Abbildungen. M. 4,50.
- Heft 49. Dr. Hans Georg Möller: *Die Elektronenröhren und ihre technischen Anwendungen.* Mit 163 Abbild. und einer Tafel. M. 10,—.
- Heft 50. Prof. Dr. C. Dorno-Davos: *Klimatologie im Dienste der Medizin.* Mit 11 Abbildungen. M. 5,—.
- Heft 51. Prof. Dr. C. Isenkrahe: *Zur Elementaranalyse der Relativitätstheorie.* M. 6,—.
- Heft 52. Dr.-Ing. Max Moeller: *Das Ozon. Eine physikalisch-chemische Einzeldarstellung.* Mit 32 Textfiguren. M. 12,—.
- Heft 53. Dr. V. Gellen: *Mathematik und Baukunst als Grundlagen abendländischer Kultur, — Wiedergeburt der Mathematik aus dem Geiste Kants.* M. 6,—.
- Heft 54. Dr. H. Heinrich Franck, *Die Verwertung von synthetischen Fettsäureestern als Kunstspeisefette in wirtschaftlicher, physiologischer und technischer Beziehung.* Mit 3 Abbild. M. 6,40.
- Heft 55. Dr. Alfred Wegener: *Die Entstehung der Mondkrater.* Mit 9 Abbildungen im Text und auf 3 Tafeln. M. 4,80.
- Heft 57. Dr. Hans Cloos: *Der Mechanismus tiefvulkanischer Vorgänge.* Mit 25 Zeichnungen und einer Karte. M. 9,—.

Im Druck befinden sich:

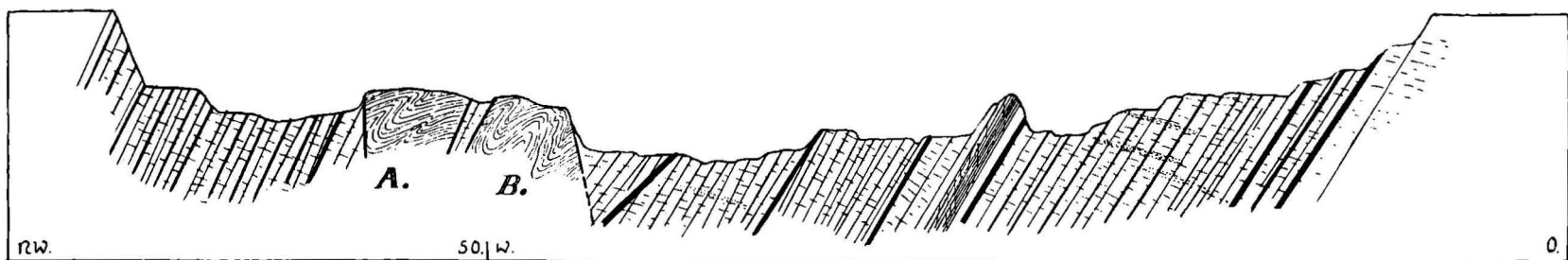
Dr. Walther Gerlach: *Die experimentellen Grundlagen der Quantentheorie.* Mit 43 Abbildungen.

N. Bohr: *Über die Serienspektren der Elemente.* Vortrag, gehalten in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft zu Berlin am 27. April 1920.





0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 m



- | | | | | | |
|--|---|--|--|--|--|
| | <i>Klüfte, meist N. u. O. streichend</i> | | <i>Nachschübe von feinkörn. Granit</i> | | <i>Rand des Steinbruchs</i> |
| | <i>Mineral- u. Aplitgänge (A) auf den Nordklüften</i> | | <i>Schlieren</i> | | <i>Streichen (180 = 75) u. Fallen (55°) der Flächen; R-Rutschstrf.</i> |
| | <i>Streckung (F), streicht 070 - 0 (60-90°)</i> | | <i>Schollen v. Gneis u. Hornfels</i> | | |

Ausschnitt aus einer geologischen Spezialkarte des Granitgebietes von Strehlen in Schlesien. 1:1500.

Trotz des großen Maßstabes mußten noch Klüfte weggelassen und Gänge übertrieben dick dargestellt werden. Auch wurde die Streckung nicht überall eingetragen. Das Profil ist zwischen den Schollen A und B geknickt. Die topographische Unterlage hat die Firma Voelcker und Nikolaier freundlichst zur Verfügung gestellt.