

QE 1

.F6

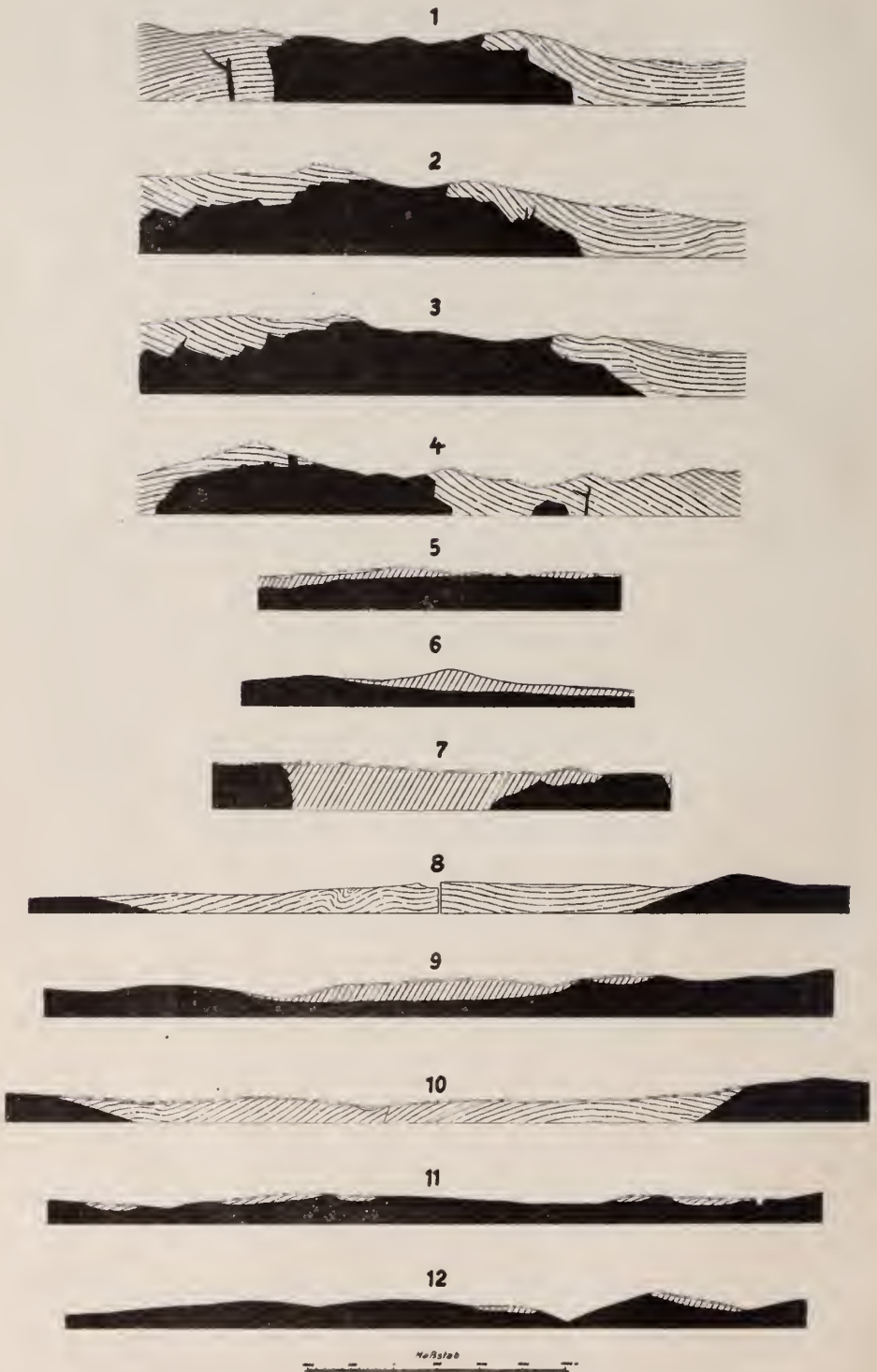
Hft.1

1923

FOR THE PEOPLE
FOR EDUCATION
FOR SCIENCE

LIBRARY
OF
THE AMERICAN MUSEUM
OF
NATURAL HISTORY

Bound at
A. M. N. H.
1924



Figur 1. Zwölf Querschnitte durch Batholithen

Fortschritte der Geologie und Palaeontologie

herausgegeben

von Professor Dr. W. Soergel, Tübingen

Heft I

Das Batholithenproblem

von

Hans Cloos (Breslau)

Mit 24 Figuren

Berlin

Verlag von Gebrüder Borntraeger

W 35 Schöneberger Ufer 12 a

1923

Alle Rechte,
insbesondere das Recht der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten

24-97430 - 626

Druck von E. Buchbinder (H. Duske), Neuruppin

Made in Germany

QE1
176
176.1
1783

Vorwort

Die vorliegende Untersuchung setzt meine im Laufe der letzten Jahre veröffentlichten Arbeiten zur „Tektonik des Magmas“ nicht fort, sondern wendet sie an. Ihrer Weiterentwicklung sind nur hier und da einige Beobachtungen gewidmet. Dagegen erwies sich die Zuverlässigkeit der Methode an drei Prognosen, die mit ihrer Hilfe aufgestellt wurden und sich im weiteren Verlauf der Arbeit bestätigten (s. S. 23/24).

Nachdem aus der Granittektonik zuerst gewisse Folgerungen für die „normale“ Tektonik „fester“ Gesteine gezogen wurden, war es die nächste Aufgabe, den geologischen Gestaltungsvorgängen des Magmas selbst, der Massivbildung, näher zu treten. Diesem Ziele dienten eingehende Untersuchungen in der südwestlichen böhmischen Masse, auf deren Ergebnisse das Folgende aufgebaut ist.

Hiernach kämen zunächst die kristallinen Schiefer an die Reihe, danach die innere Tektonik der „normalen“ Gebirgsbildung. Beides kann an geeigneter Stelle auf einmal und in gegenseitiger Wechselwirkung sowie unter Kontrolle durch eingeschaltete Tiefengesteinsmassive erfolgen. Der Eintritt in dieses sehr umfangreiche, aber, wie gewisse Erfahrungen lehren, aussichtsreiche Gebiet ist für den Sommer und Herbst dieses Jahres in Aussicht genommen.

Breslau, im März 1923

Hans Cloos

Inhalt

	Seite
Einleitung	1
Der Batholithenbegriff, Geschichte und Erörterung	3
Erster Teil: Untersuchung einzelner Beispiele	14
Die Batholithen des Bayrischen Waldes	14
Die Intrusionsformen	15
Die Tektonik	22
Der Intrusionsvorgang	26
Das Lausitzer Granitmassiv	30
Das Brockenmassiv	34
Der Granit von Kudowa	39
Weitere Beispiele	40
Das Riesengebirge	41
Das Massiv von Striegau-Zobten	43
Das Massiv von Strehlen-Friedeberg	45
Das Erongogebirge	46
Methodisches	49
Zweiter Teil: Allgemeine Betrachtungen	52
Rückblick	52
Der Aufstiegsweg des Granits	54
Die Gneissedimentgrenze	56
Der mechanische Antrieb des Granits und seine Beziehungen zu gleichzeitigen Krustenbewegungen	60
Einschränkungen	62
Einschmelzung und Aufstemmung	63
Die Verhältnisse in größerer Tiefe	67
Batholithentheorie, Assimilation und Differentiation	69
Ergebnisse	72
Literatur	78

Das Batholithenproblem

von

Hans Cloos

Mit 24 Zeichnungen

Einleitung

Das Batholithenproblem ist zunächst ein vulkanisches Problem. Aber es ist weit mehr. Denn es entscheidet in letzter Linie über die Frage, ob das Erdinnere fähig sei, aus eigener Kraft die Erdkruste zu durchbrechen oder nicht.

Versteht man doch unter Batholithen jene größten unterirdischen Anhäufungen vulkanischer Gesteine, die — als „Granitmassive“ — das Gefüge ihrer nichtvulkanischen Umgebung schonungslos durchschneiden und dadurch den Anschein erwecken, als ob sie aus unbekannter, „ewiger Teufe“ breit und fußlos heraufgewachsen wären, alles, was in ihrem Wege stand, aufzehrend und vernichtend. Die Batholithen erscheinen, wenn diese Vorstellung richtig ist, als die räumlich ausgedehntesten Bestandteile der Erdkruste, ja bereits als die Gipfel einer noch mächtigeren, die ganze Erde umspannenden granitischen Unterschicht.

Kein Wunder, daß mit ihnen eine Fülle von Teilproblemen verknüpft ist, daß alle Zweige der mit der Erde und ihrer Entwicklung beschäftigten Wissenschaften an der Lösung des Problems den engsten Anteil nehmen.

Zu allererst erhebt sich die Frage: Wo sind jene älteren, vorher am gleichen Orte vorhandenen Gesteine geblieben? Wie konnte der Granit an ihre Stelle treten? Dies ist das Raumproblem und zugleich das Stoffproblem der Batholithen. Es

Erläuterungen zu den zwölf Batholithenprofilen (Titelbild).

1—4. Marysville-Batholith in Montana (n. Barrell 1907).

5 und 6. Lausitzer Granitmassiv

7—12. Batholithen des westlichen Erzgebirges

(5—12 im angegebenen Maßstab. 1—4 etwa $\frac{1}{4}$ der übrigen.)

Fortschritte der Geol. u. Palaeontologie. Heft 1

1

verbindet sie aufs engste mit den Problemen der Gesteinslehre, als der Wissenschaft von der stofflichen Zusammensetzung der Erdkruste. Hat man doch angenommen, jene verdrängten Gesteine seien vom Granit aufgenommen, ja aufgeschmolzen, seinem Stoffbestand assimiliert worden. Das Gestein sei also gar nicht oder nur zum Teil ein vulkanisches, zum andern Teil aber sei es verflüssigte und wieder verfestigte Erdkruste. Dadurch stellte sich der Batholithenbegriff in schärfsten Gegensatz zu der von Rosenbusch so stark betonten chemischen Reinheit und Selbstständigkeit des Magmas. Am folgerichtigsten hat R. A. Daly die heute herrschende Auffassung vom Werdegang der Batholithen für die Gesteinslehre ausgebeutet. Nach ihm sollte der Granit im höchsten Grade unrein, sollte er geradezu ein, durch fortdauernde Aufzehrung saurer Erdkruste sauer gewordener Basalt sein.

Anknüpfend an die Raumfrage ist an dem Batholithenproblem auch die Tektonik als die Lehre von dem Bau und den Bewegungen der nichtvulkanischen Erdkruste aufs engste beteiligt. In ihrem Sinne schärfer gefaßt würde das Problem lauten: Ist die Gebirgsbildung tatsächlich, wie jene Vorstellung erwarten läßt,



Fig. 2. Verknüpfung eines Batholithen mit einem Vulkan (n. Daly bei Kayser).

den Angriffen und Eingriffen des Tiefenvulkanismus unterworfen oder ist sie es nicht? Oder ist gar umgekehrt der Tiefenvulkanismus bei seinem Wege nach oben geradezu auf die Mithilfe der Gebirgsbildung angewiesen? Alle drei Möglichkeiten sind erörtert worden. Endlich hat man in den Batholithen erstarrte und entblötte

Herde früherer Oberflächenvulkane zu sehen geglaubt. Die Batholithen sind es, so nahm man an, die dem eigentlichen Vulkan Kraft und Stoff zuführen und ihn an den Haushalt der inneren Erde anschließen. So trat das Batholithenproblem auch mit dem Vulkanismus im engeren Sinne in eine wesentliche Beziehung.

Gibt es nun wirklich solche Batholithen? Gibt es große Massen vulkanischen Gesteins, die in der Erde auf Kosten ihrer Nachbarschaft ihren Raum und also ihren Stoff gewonnen haben? Muß oder darf die Gesteinslehre und die Lehre von der

Gebirgsbildung mit diesem Faktor, einem der räumlich ausgedehntesten im Haushalt der Erdkruste rechnen?

Das Problem ist nicht neu und es ist auch von mir schon mehrfach gestreift worden. Wenn ich ihm heute eine eigene, ausführlichere Abhandlung widme, so geschieht es, weil ich eine Reihe neuer Beobachtungen beizubringen habe, die es möglicherweise auf einen neuen Weg, ja vielleicht schon auf den Weg der Lösung bringen werden.

Der Batholithenbegriff, Geschichte und Erörterung

Wir wollen also unter Batholithen im Sinne von Ed. Suess zunächst nur solche Tiefengesteinsmassive verstehen, welche die Schichten ihrer Umgebung durchschneiden und ersetzen und welche anscheinend ohne fremde Unterlage nach der Tiefe fortsetzen. Damit scheiden die konkordanten Lakkolithen, auch die großen „Gneisgranitlakkolithen“, fürs erste aus. Der Schwerpunkt liegt vielmehr gerade in der Vorstellung, daß der Granit sich aus großer, „ewiger Teufe“ emporgearbeitet habe, auf Kosten der entgegengesetzten Gesteine, und daß diese also für immer verschwunden sind und durch den Granit vertreten werden.

Von strengen Beweisen für die Richtigkeit oder auch nur für die Notwendigkeit eines solchen Begriffes kann natürlich keine Rede sein. Doch hat der Batholithenbegriff, besonders in der Folgerichtigkeit, mit der ihn Daly herausgearbeitet hat (Lit. 20 u. 21), den unleugbaren Vorzug, großzügig und einfach zu sein und eine Fülle von Einzeltatsachen unter einem einheitlichen, anschaulichen Gesichtspunkt erklärend zusammenzufassen. Er gleicht in dieser Beziehung der Deckentheorie in den Alpen. Er gleicht ihr auch insofern, als er für die methodische Einfachheit erhebliche physikalische Schwierigkeiten in Kauf nehmen muß. Dem Tektoniker und Vulkanologen, dem die Entwirrung des Gebirgsbaus obliegt, wird durch den Batholithenbegriff die Lösung seiner Aufgabe ungemein vereinfacht. Mit dem Erreichen des Granitkontaktes hören die Einzelprobleme, ja, hört jede Problemstellung überhaupt auf. Die ganze komplizierte Tektonik und Schichtenfolge des Falten- und des Bruchgebirges schneidet am Granit ab. Nur der Stoff geht weiter, aber auch er in einer ungemein vereinfachten Form: er ist zu Granit verflüssigt, uniformiert worden. In gleichem Maße wie so der Bereich des Geologen ein-

geengt wird, erweitert sich die Werkstatt des Petrographen. Der Raum, in welchem Gesteine gemacht werden, erfährt eine Ausdehnung bis unter die Augen des Beobachters und zugleich werden der Gesteinsbildung neue Hilfskräfte zugeführt in Form von Fremdkörpern, die als Anregungsmittel, als Impfstoffe, ja geradezu als Ergänzungen der Stoffauswahl in jener Werkstatt anzusehen sind. Noch mehr als das: der Batholithenbegriff hat die höchsten Teile der Erdkruste unmittelbar an große Tiefen derselben angeschlossen, er hat zwischen unten und oben eine senkrechte Verbindung hergestellt, viel großartiger und wirksamer als die Gänge und Schlotte des Vulkans. So konnte man dazu übergehen, die Granite geradezu als den leichten Schaum auf einem schwereren, weil basischeren Magmabrei anzusehen. Und der Hypothesenbildung waren keine Schranken auferlegt, wenn sie andere, minder saure Gesteine aus entsprechend größeren Tiefen je nach Bedarf und Wahl ableiten wollte. Wir berühren hier die große Bedeutung, die der Batholithenbegriff für das ungefähr gleichzeitig mit ihm entwickelte Differentiationsproblem gewinnen mußte.

Der reiche Ertrag, den solchermaßen der Batholithenbegriff dem Forscher versprach, erklärt die großen Anstrengungen, die von verschiedenen Seiten zu seiner Begründung unternommen worden sind. Er datiert von einer Beschreibung des Drammengranites bei Christiania, die Th. Kjerulf 1880 gegeben hat. Der erste, weil nächstliegende Weg der Deutung, war der, von französischen Forschern unternommene, durch Aufschmelzung. Als heiße vulkanische Schmelze sollte der Granit die entgegengesetzten Gesteine verflüssigt und assimiliert und sich auf solche Weise aktiv seinen Weg gebahnt haben. Dabei kann man noch einmal einen milderen Standpunkt unterscheiden, nach welchem von Anfang an Schmelzen vorhanden waren, die nur ihren Bestand und Raum nach oben hin vergrößerten, und einen extremen Standpunkt, der die Bildung des gesamten Raumes und der gesamten Schmelze lediglich aus der Einwirkung heißer Gase auf die feste Erdkruste herleitet. Wir können heute beide Hypothesen, als mit zahlreichen geologischen Beobachtungen in Widerspruch stehend, übergehen. Denn die wirklichen Grenzflächen zwischen Granit und Nebengestein sind keine reinen Schmelzränder, sondern das Ergebnis einer vorwiegend mechanischen Berührung. Dieser Tatsache trägt am folgerichtigsten die bekannte, auf Barrell und Daly zurückgehende Aufstammungshypothese Rechnung. Der

Granit zerschmilzt nicht, sondern er zerbricht das Nebengestein und das Dach; die Bruchstücke derselben treten in die Schmelze über und versinken, da sie schwerer sind, in ihr. Die Schmelze endlich tritt an die Stelle der ausgebrochenen Stücke. Die versunkenen Stücke selbst können, aber müssen nicht, in der Tiefe der Schmelzmasse aufgeschmolzen werden. Man hat die aktive Arbeit des Granites mit dem „Übersichbrechen“ (Over head stoping) des Bergmanns im Schachte verglichen. Salomon hat für den ganzen Vorgang nach seinem Ergebnis den Namen „Platztauschhypothese“ vorgeschlagen. In dieser Form erfreut sich die Batholithentheorie heute einer ziemlich allgemeinen Zustimmung, doch kann man allerdings bei den meisten Forschern ein gewisses Unbehagen in ihrer Anwendung, eine gewisse vorsichtige, reservierende Ausdrucksweise nicht verkennen.

Die Entscheidung liegt offenbar bei den Schollen, als den unzähligen kleinen Vermittlern des großen Raum- und Stoffwechsels. Kein Zweifel, daß sie längs fast allen Kontaktflächen in großer Zahl tatsächlich beobachtet werden und daß auch Vorstöße des Granites im Nebengestein nicht fehlen, die neue Schollen vorbereiten und lösen (Fig. 3). Daly hat eine Menge ungemein sorgsamer und scharfsinniger Arbeit aufgewandt, um zu beweisen, daß die Schollen tatsächlich schwer genug sind, um in der immerhin zähen und nur wenig leichteren Granitschmelze versinken zu können. Daß sie es auch müssen, wird sich theoretisch schwer beweisen lassen. Die Dalysche Beweisführung und die ihr zugrunde liegenden Tatsachen sind durch unsere neuesten Lehrbücher so bekannt geworden, daß ich auf

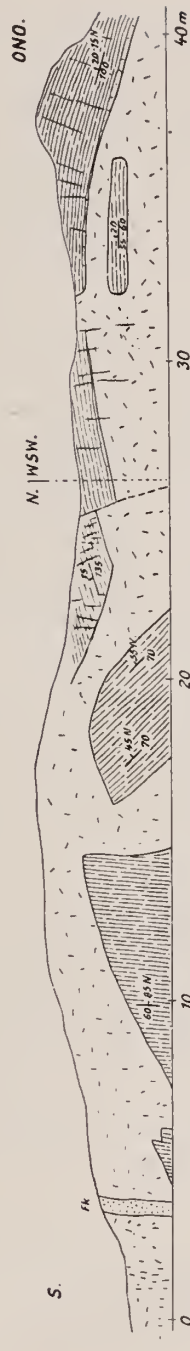


Fig. 3. Schollen unter dem Dach eines Granitmassivs, Saarau in Schlesien (n. H. Cloos, 1922).

diese, sowie auf fremde und eigene Spezialarbeiten zurückverweisen darf (Lit. 2, 10, 21). Ich möchte auch auf eine Erörterung der angewandten Rechnungen schon deshalb nicht eingehen, weil mir die rechnerische Behandlung der unzugänglichen und unübersichtlichen Verhältnisse im Schmelzraum selbst bei der größten Sorgfalt und Vorsicht nicht überzeugend erscheint.

Wie steht es nun aber mit dem einzigen sicheren Auskunftsmittel des Geologen, mit der Beobachtung? Wegen der Wichtigkeit der Schollenfrage habe ich gut aufgeschlossenen Beispielen vor Jahren eine monographische Beschreibung gewidmet (Lit. 10). Es ließ sich nachweisen, daß an der Bildung dieser Schollen tektonische, dem Granit zunächst fremde Kräfte beteiligt sind. Das Problem der Kraft war damit auf das schon länger durchforschte Nachbargebiet der Gebirgsbildung verschoben und auch für den Raum war viel gewonnen. Aber es fanden sich solche Schollen fast ausschließlich dicht unter dem Dache der Massive. Das Innere war frei davon. Dieselbe Erfahrung, die der Vorstellung eines „ständigen Schollenregens“ doch vollkommen widerspricht, ist in fast allen diskordanten Massiven immer wieder gemacht worden. Zwei Erklärungen stellten sich ein. Entweder die Schollen wurden im Innern des Massivs rasch aufgelöst, oder aber sie gerieten, nachdem sie sich von der Decke gelöst, alsbald in so dünnflüssigen Granit, daß sie rasch untersanken und sich der Beobachtung entzogen. Beiden Vorstellungen steht das Fehlen stark angeschmolzener Schollen und Schollenreste in größerer Entfernung von den Kontakten entgegen. Zwar sind in konkordanten, vielfach gneisartigen Graniten kleine und große Schollen ungeheuer häufig; ich denke z. B. an den Gneisgranitrahmen des Riesengebirges (Lit. 10, S. 57 ff.). Aber in dieser Lagerung sind sie für die Raumbildung bedeutungslos aus demselben Grunde, aus dem die konkordanten Massive selbst kein eigentliches Raumproblem darbieten (Fig. 4 u. 24).

Ich möchte nun zunächst einige weitere Gesichtspunkte anführen, die mir ebenfalls einer allzuweiten und unterschiedslosen Verallgemeinerung des Batholithenbegriffes im Wege zu stehen scheinen.

Zahlreiche Batholithen liegen auf tektonischen oder stratigraphischen Grenzen. So ist der Erongogranit an eine schmale Störungszone gebunden, die sich Hunderte von Kilometern weit fast geradlinig verfolgen läßt (Lit. 9, S. 23). Die großen

Granite des Sudetenvorlandes liegen auf der wichtigen Grenze zwischen kristallinem und nichtkristallinem Gebirge (Lit. 13, S. 58, 91). Ähnlich, worauf v. Bubnoff hinweist, umrahmen die Schwarzwaldgranite einen Gneiskern und trennen ihn von seinem Sedimentmantel. Auch das riesige Lausitzer Massiv wird von Formationsgrenzen und Störungen eingefabt, ja, es liegt diese größte deutsche Granitmasse gerade auf der größten und wichtigsten tektonischen Grenze Deutschlands, der Grenze des sächsischen und des sudetischen Gebirges (siehe unten S. 30). Weitere Beispiele werden unten aufgeführt (S. 55). Wie ist es möglich, muß man demgegenüber fragen, daß eine Schmelzmasse aus ewigen Teufen emporwächst, sich dabei beständig verschmälert und zuspitzt und schließlich doch mit ihrem Gipfel ausgerechnet eine vorgezeichnete Fuge oder Linie der örtlichen Tektonik trifft. Sehr oft wird diese Fuge durch einen auf ihr sitzenden Vorläufer des Granites kenntlich gemacht. So leiten den jungen Granit des Erongo basischere Vorläufer ein, Diorite, Granodiorite, Porphyrite und Melaphyre. Wie kommt es, daß die wenig jüngeren Granitmassive gerade die Stelle umsäumen, die kurz zuvor bereits anderen Schmelzmassen zum Aufstieg und Durchtritt gedient hat? Wie läßt sich dies anders verstehen, als daß auch der Granit nur die engen Wege seines Vorläufers benützt hat? In vergleichbarer Weise folgt der Brockengranit einem Gabbro und Diorit, der Lausitzer Granit dem Syenit von Meißen, die schlesischen Granite Serpentin, Gabbros, Syeniten. Zahllose weitere Beispiele ließen sich anführen.

Ein anderer Gesichtspunkt: Wenn unsere großen Granitmassive tatsächlich nach der Tiefe breiter werden oder wenigstens sich nicht verjüngen, so müßten doch in den tiefer abgetragenen Teilen desselben Gebirges mehr Massive und größere Massive vorkommen als in den höheren. In dieser Erwartung habe ich Pfingsten 1921 zum erstenmal den Südtel der böhmischen Masse aufgesucht. Tatsächlich zeigen unsere Karten im Bayerischen und Böhmerwald, an der Donau bei Linz usw. riesige rote Flecken von Granit. Diese könnten sehr wohl als die breiten Sockel kleinerer Gipfelbauten vom Charakter der schlesischen oder Erzgebirgsmassive angesehen werden. Aber diese riesigen Granitgebiete existieren gar nicht. Im Bayrischen Wald, den ich seither sehr gründlich kennen gelernt habe, findet man zwar zahlreiche, aber nur sehr kleine Durchbrüche wirklichen Granits; alles andere ist Gneis. Und in dem Granitgebiet von Linz und zwischen

Linz und Passau treten sogar diese Durchbrüche sehr zurück und man findet an ihrer Stelle wiederum enorme Areale von Gneis. Nun sind zwar diese Gneise zum größten Teil ebenfalls Granitgneise, also gepreßte und zwar meist schon im Entstehen gepreßte



Fig. 4. Konkordante Schiefersollen im (älteren) Gneisgranit von Linz (Oberösterreich). H. Cloos. 1921.

und umgeformte Granite; viele haben nicht einmal ein rechtes Parallelgefüge erworben. Aber tektonisch sowohl wie dem Alter nach, und vor allem für das in Rede stehende Problem haben wir es mit Gneisgraniten zu tun und ihr Auftreten ist nicht das der Batholithen. Vielmehr sind es Granite der „ersten Generation“ (Lit. 10, S. 100). Sie sind in einer merklich früheren Zeit im Anschluß an Faltung emporgedrungen und haben Räume gefüllt, die ihnen durch die Faltung selbst geöffnet wurden. Dementsprechend schmiegen sie sich den Schichten des Nebengesteins an, ohne es zu durchschneiden (Einschmelzung bleibt zunächst unberücksichtigt).

Eine Raumfrage, ein Batholithenproblem, gibt es also in diesen älteren konkordanten Gneisgraniten nicht. (Vgl. auch Fig. 24.)

Die Grenze nun zwischen den älteren Gneisgraniten und den jüngeren für uns allein hier wichtigen Graniten ist in den verschiedenen Stockwerken der böhmischen Masse und ihrer Randgebiete von den kartierenden Geologen ganz verschieden gelegt worden. In Schlesien sind die Gneisgranite mit wenigen Ausnahmen schon auf den älteren Karten zum Gneis gezogen. Ebenso in Sachsen, in der Lausitz, in Thüringen. An der Donau dagegen

wurde ganz willkürlich verfahren. Bald stehen Gneise beim Granit, bald jüngere Granite, die etwas stärker gestreckt sind, beim Gneis. (Diese ungleiche Grenzziehung hat bestimmte, in der Sache liegende Gründe, auf die wir erst sehr viel später zurückkommen können.) Zieht man aber im Süden die Grenze ebenso wie im Norden, so schwindet der Anteil des jüngeren diskordanten Granites ganz erheblich zusammen. Der Granitanteil an der Gesamtmasse ist dann nur ein Bruchteil von demjenigen in den nördlichen weniger tief abgetragenen Teilen des Gebirges¹⁾.

Es liegt mir fern, in einem solchen bloßen Vergleiche zwar verwandter aber doch räumlich weit getrennter Bildungen einen Beweis gegen die Verbreiterung der Massive nach der Tiefe sehen zu wollen. Genug, wenn sie wenigstens nicht mehr als Beweise dafür gelten.

Was ferner die „Granittektonik“ (Lit. 12 u. 13) angeht, so enthält sie zwar kein Mittel, um direkt in den Untergrund der Massive zu blicken, aber doch eine ganze Reihe von Hilfsmitteln indirekter Art. Wenn sie ein Verfahren darstellt, die Bewegungsweise und Bewegungswege eines Massives während seiner Erstarrung bis ins Einzelne zu analysieren, so kann sie uns auch gewisse Hinweise auf den Ursprung und das Ziel dieser Bewegung nicht versagen. Bei Batholithen nun würde der Ursprung unter der gesamten Breite des Massivs, das Ziel senkrecht darüber zu suchen sein. Die Granittektonik keines einzigen der bisher untersuchten Massive hat diese Forderung erfüllt. Vielmehr haben sich stets Anhaltspunkte für einen örtlich begrenzten Zufuhrweg ergeben, der enger war als das Massiv selbst. Ich will auf diesen Gesichtspunkt erst an Hand der einzelnen Beispiele eingehen. Die Granittektonik gibt fernerhin sehr minutiöse Auskunft über das mechanische Verhältnis des Granites zu seinem Dach. Der echte Batholith durchbricht sein Dach, greift hier höher, dort weniger hoch empor; völlige Selbständigkeit gegenüber den Schichten des Daches wie gegenüber der Grenzfläche selbst zeichnet ihn aus. Auch hiervon gibt die Mikrotektonik ein völlig abweichendes Bild. Zeigt sie doch, wie der Granit sich von Schritt zu Schritt seiner Decke anschmiegt, mit ihr auf und absteigt, mit ihr sich zu

¹⁾ Ich mache hier bereits die an anderer Stelle zu beweisende Voraussetzung, daß die Granite des Bayrischen Waldes und seiner Nachbarschaft zum varistischen Gebirge gehören.

Kuppeln von prachtvoller Rundung und Regelmäßigkeit emporwölbt. Tektonisch, so kann man sich auf Grund dieser Beob-

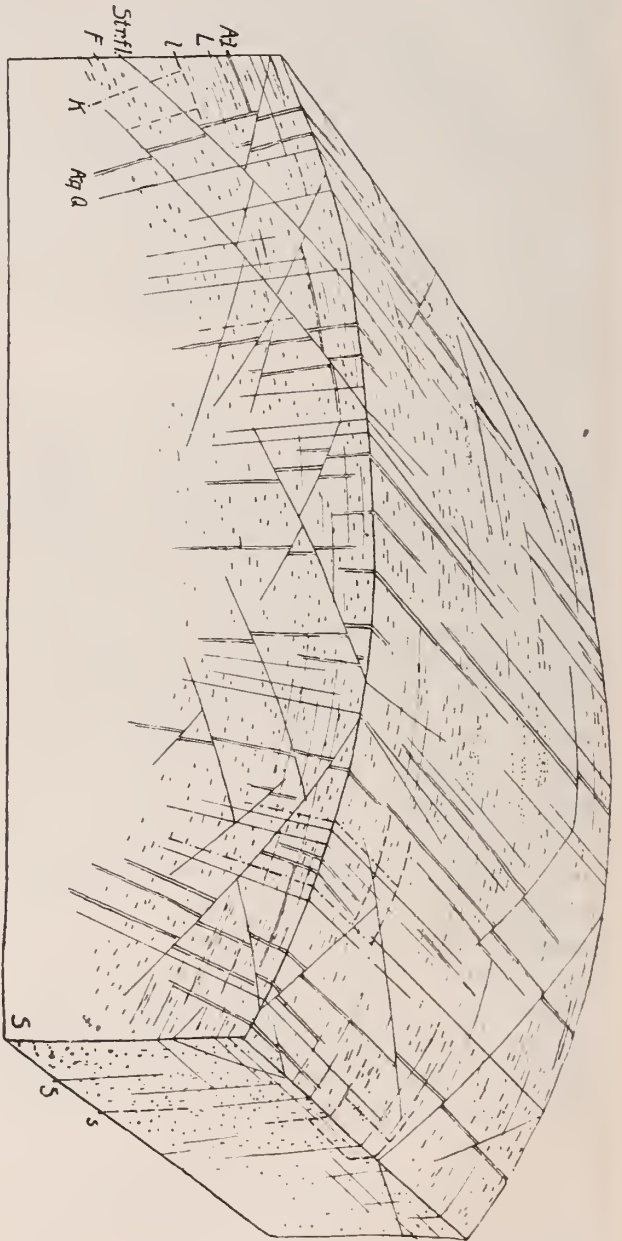


Fig. 5. Stereogramm zur Veranschaulichung der granittektonischen Elemente in ihrer gegenseitigen Beziehung.
(Wiederholt aus H. Cloos, Der Gebirgsbau Schlesiens, Berlin 1922).

Q = Klüftung } nach der Querfläche
 K = Teilbarkeit }
 S = Klüftung } nach der Längs-(Schiefer-)fläche
 s = Teilbarkeit }
 L = Klüftung } nach der Lagerfläche
 l = Teilbarkeit }

F = Lineares Parallelförmige (Streckung, Fluidaltextur, „Faser“).
 Str. fl = „Streckflächen“ (sine verwerfen die älteren Klüfte und Gänge).
 A = Aplitgänge (Doppellinien).
 (A.-l = Lageraplite; A.-q = Quaraplite).

achtungen vielleicht ausdrücken, verhält sich der Batholith zu der Unterfläche seines Daches genau ebenso wie der Lakkolith, nur daß diese Unterfläche — zufällig — keine Schichtfläche, sondern eine flache Kluft ist. Der Gegensatz liegt also nicht im Granit, sondern in seiner Decke! Von der Kontaktfläche selbst ausgehend, kann man auch sagen, diese sei im Sinne der herrschenden Theorien für den Lakkolithen eine Einheit, für den Batholithen dagegen eine Summe verschiedenartiger Teilstücke, die Mikrotektonik aber läßt den Kontakt auch der diskordanten Massive als eine Einheit erscheinen. Ich komme auch hierauf an Hand spezieller Beispiele noch zurück.

Eine Erscheinung, die, obwohl sie von vielen Batholithen ausdrücklich hervorgehoben wird, meines Erachtens gar nicht mit der Batholithentheorie in Einklang zu bringen ist, ist die Aufwölbung (engl. Doming). Überall wird mitgeteilt, daß der Granit das Dach zwar durchschneide, aber außerdem auftreibe und seinerseits unter ihm ein regelmäßiges Gewölbe bilde. Mehrfach wird sogar der Betrag der Aufwölbung genannt; er bewegt sich meist zwischen einigen 100 und 1000 m. Darin scheint mir ein Widerspruch zu liegen. Zunächst ist kein Grund einzusehen, warum ein Granit, der sich durch Aufzehrung seines Daches Platz schafft, dieses gleichzeitig emportreiben müsse oder könne. Aber selbst diese Möglichkeit zugegeben, so bliebe die ungemein regelmäßige Form dieser Wölbung und ihre Beschränkung auf den Granit und seine nähere Umgebung unverständlich. Es widerstrebt der Vorstellung in hohem Maße, daß der Auftrieb ausgehen solle von einem Medium, das des Bodens und damit des Widerlagers entbehrt. Barrell in seiner wundervollen Beschreibung des Marysville Batholithen (Lit. 1, S. 88f.) hilft sich durch Isostasie. Die Granitschmelze soll leichter sein als das Neben- und Hangendgestein und aus diesem Grunde passiv aufsteigen. Nun, all dies zugegeben — als unmöglich beweisen läßt sich die Aufwölbung eines bodenlosen Batholithen natürlich nicht. Dagegen entfällt umgekehrt beim Vorhandensein einer Aufwölbung die Notwendigkeit, durch batholithische Aufzehrung Raum zu schaffen. Denn der sichtbare Granit füllt tatsächlich nur den durch Auftreibung gewonnenen Raum, nicht mehr und nicht weniger. Denkt man den Granit weg, so entsteht ein leerer Raum, der sich durch fehlendes Nebengestein nicht ausfüllen läßt. Eine Frage bleibt es also nur, wie der Granit diesen Raum geschaffen hat. Ich

komme auf diesen Gesichtspunkt am Schlusse noch einmal zurück und möchte mich hier noch dem eng damit zusammenhängenden Problem des Daches („the problem of the cover“) zuwenden. Selbst den überzeugtesten Anhängern der Batholithentheorie hat von jeher die Tatsache Schwierigkeiten bereitet, daß eine Granit-schmelze, die sich aus unendlichen Tiefen durch schrittweise Ver-nichtung ihres Hangenden emporgearbeitet, buchstäblich durch-gefressen hat, ausgerechnet in wenigen hundert Meter Tiefe unter der (damaligen) Erdoberfläche Halt macht. Wurde doch im



Fig. 6. Durchbruch eines Batholithen zur Erdoberfläche (Arealeruption). Nach Daly aus Kayser.

Erongo der Granit nur durch die Ergüsse seines eigenen Vor-läufers, in der Lausitz durch einige hundert bis tausend Meter Culm und anderes Paläozoikum festgehalten. Wie ist es denkbar, daß die Schmelze einerseits dünnflüssig genug war, daß unge-zählte, wenig schwerere Schollen in ihr untersanken, und andrer-seits zähflüssig genug, um ein schweres, bereits zerspaltenes, ver-bogenes und in jeder Weise gelockertes Dach zu tragen? Dies ist vielleicht der wundeste Punkt in der Batholithentheorie und ist als solcher von fast allen Erforschern empfunden worden. Man hat sich mit der Behauptung zu helfen gesucht, daß tatsächlich viele Granite durchgebrochen seien bis zur Oberfläche. Aber solche „Arealeruptionen“ sind viel gesucht und überhaupt nicht, wenigstens nicht im Zusammenhang mit Batholithen, gefunden worden. Im Gegenteil läßt sich an fast allen Granitmassiven der Nachweis der Unversehrtheit ihres Daches führen.

Alle diese und eine Reihe weiterer Bedenken haben bei mir schon seit langem das Vertrauen zur Allgemeingültigkeit des Batholithenbegriffes erschüttert. Dies um so mehr, als auch die Batholithenliteratur von inneren Widersprüchen nicht ganz frei ist. Ich möchte aus den zahlreichen Spezialarbeiten nur zwei besonders charakteristische herausgreifen. Die erste besitzt ein besonderes historisches Interesse. Das Beispiel, von dessen spezieller eigener Untersuchung Daly seine ersten Anschauungen herleitete,

ist der Mount Ascutney in Vermont (Lit. 17, S. 90—113). Es ist dies ein ganz kleiner, überdies noch aus verschiedenen Gesteinen zusammengesetzter Stock von 8 km Länge und 1—4 km Breite. Daly nimmt an, daß er sich nach der Tiefe zu verbreitert und bringt dies auch im Profil zum Ausdruck, ferner, daß der Massivraum dementsprechend aus der Aufnahme des Nebengesteins gebildet wurde und daß letzteres an der Ausgestaltung des Gesteinsinhalts wesentlich beteiligt war. Mit dieser Vorstellung steht die Karte in Widerspruch. Denn die Außengrenze des Massivs (man vergleiche etwa Fig. 19 in v. Wolffs Vulkanismus, Bd. I) zieht mehrfach in den Tälern einwärts, zeigt also einen Verlauf, der für eine wagerechte oder flach trichterförmig nach dem Innern des Massives einfallende Grenzfläche charakteristisch ist. Entweder muß hier in der Kartierung und Zeichnung oder in den aus ihr gezogenen Folgerungen ein Irrtum vorliegen; jedenfalls muß dieser Widerspruch den Außenstehenden befremden bei einer Arbeit, die den Anstoß zu so weit reichenden und wichtigen Gedankenbildungen gegeben hat.

Das zweite Beispiel der Literatur ist der Boulder-Batholith in Montana. Er und sein Nachbar, der Marysville-Batholith gelten seit der eingehenden, durch Bergbauaufschlüsse erleichterten Erforschung von Barrell und Weed (Lit. bei A. Knopf, Bull. 527, U. St. Geol. Survey. 1913) als Muster und festeste Stützen des Batholithenbegriffes. Demgegenüber muß es in hohem Maße überraschen, wenn ein Forscher wie Lawson die Frage stellen kann: Ist der Boulder-Batholith ein Lakkolith? (Zit. in Econ. Geol. IX, 396. 1914). Lawson ist geneigt, aus Aufschlüssen bei Helena anzunehmen, die riesige Granitmasse sei, obwohl diskordant und außerordentlich unregelmäßig, doch nicht unter, sondern zwischen die dortigen Sedimente eingeschoben. Er bezeichnet ihn geradezu als einen „transgredierenden Lakkolithen“. Mit Boulder ist aber, wie gesagt, Marysville eng verknüpft. Und Marysville ist durch die prächtige Darstellung Barrells eigentlich der klassische Batholith der amerikanischen Literatur. Damit aber stehen wir vor der Tatsache, daß es augenblicklich kaum einen großen und wirklich gründlich erforschten Batholithen gibt, an dessen batholithischer Natur nicht von irgend einer Seite Zweifel gehegt würden.

Daraus ergibt sich nun aber die Aufgabe, einen Vorgang zu finden, der den bezeichnenden Formenschatz der sogenannten Batholithen auf eine andere, mechanisch harmlosere und nicht mit andern

Beobachtungen in Widerspruch stehende Art und Weise erklärt. Diese Forderung wird, wie mir scheint, durch die in letzter Zeit gewonnenen Aufnahmeergebnisse im südlichen Bayrischen Walde erfüllt. Ihnen möchte ich mich daher zunächst zuwenden.

Erster Teil: Untersuchung einzelner Beispiele

Die Batholithen des Bayrischen Waldes

Ich möchte das wichtigste Ergebnis kurz voranstellen: Die Granitmassive des südlichen Bayrischen Waldes, die seit langem als typische Vertreter batholithischer Tiefenbildungen galten, zeigen tatsächlich alle dazu gehörigen Merkmale: den gerundeten Umriß, die schildförmige Aufwölbung, den diskordanten, eine ältere Faltung schroff durchschneidenden, von gelegentlichen Schollen begleiteten Kontakt, das grobe Korn und die einheitliche Zusammensetzung. Und dennoch setzen sie nicht unmittelbar in die Tiefe, sondern liegen mit flacher Sohle auf einer fremden, älteren, nicht granitischen Unterlage. Was auf den ersten Blick als der entblößte Scheitel eines riesigen Granitkörpers erscheint, ist in Wirklichkeit nichts als eine dünne Kalotte, unter welcher sich der Gneis des Daches fortsetzt. An den Untergrund angeschlossen sind diese Kalotten nur an der Nordostseite, in der Nähe des Pfahls. Die Bildung dieser flachen, wenig mächtigen Granitplatten verlief, soweit sich bis jetzt übersehen läßt, ähnlich derjenigen normaler Lakkolithen. Granit-schmelze drang schräg von unten oder von der Seite in eine flache, aber diskordante Fuge ein, erweiterte sie und füllte sie zum Lagergang. Durch länger andauernde Materialzufuhr wurden einige dieser Lagergänge zu plankonvexen Granitschilden verbreitert und aufgetrieben. Das batholitische Aussehen rührt also daher, daß die Eintrittsfuge die steilstehenden Schichten abschnitt, so daß ihre Fortsetzung nun scheinbar im Granit liegt und nur in seltenen Fällen unter demselben wieder zum Vorschein kommt. Für die Übertragung dieses Ergebnisses auf andere Gebiete ist ferner zu beachten, daß die natürlichen Aussichten für das Sichtbarwerden dieser Unterlage außerordentlich schlecht sind.

In unserm Untersuchungsgebiet wurden sie trotz der ungewöhnlich günstigen Verhältnisse erst im letzten Monat der Aufnahmezeit entdeckt.

Es hat sich also im Bayrischen Wald ein Vorgang gefunden, der Batholithen sozusagen täuschend nachahmt, ohne doch dazu mechanisch unmögliche und mit andern Beobachtungen in Widerspruch stehende Mittel in Bewegung zu setzen.

Wir müssen uns nun zunächst den für das Batholithenproblem wichtigen Einzelformen zuwenden. Danach soll gezeigt werden, in wie weit sich ähnliche Formen auch in andern Gebieten wiederfinden und sich auch dort einer ähnlichen zwanglosen Deutung zuführen lassen.

Die Intrusionsformen¹⁾

Anstelle des einheitlichen, auf den bisherigen Karten verzeichneten „Passauer Waldmassivs“ fanden wir Hunderte von kleinen Durchbrüchen und zwei voneinander völlig getrennte größere Stöcke. Die großen und kleinen Exemplare gehören einem und demselben Typus an, und zwischen ihnen gibt es zahlreiche Übergänge, so daß man die Beobachtungen wechselseitig übertragen kann. Dies ist von großem Vorteil, da viele von den kleineren Stöcken eben wegen ihrer Kleinheit ringsherum aufgeschlossen sind. Das Nebengestein aller ist Gneis, d. h. ein aus wesentlich älteren Gneisgraniten und von ihnen vergneisten Sedimenten aufgebautes stark gefaltetes Grundgebirge.

Die kleinen und kleinsten Exemplare haben, wie gesagt, die Form und Stellung von Lagergängen. Es sind Gesteinsplatten oder Zungen von wenigen Metern bis einigen hundert Metern Dicke, die, von parallelen Flächen begrenzt, entweder wagerecht liegen oder nach Norden einfallen. Sie bestehen aus Graniten und Dioriten, seltener syenitischen Zwischengesteinen, deren Korngröße fast genau von der Mächtigkeit und Größe des Gesteinskörpers abhängt. Doch liegen sie im Gegensatz zu echten Lagergängen nicht zwischen den Schichtfugen des Nebengesteins, sondern

¹⁾ Angesichts im Druck befindlicher Spezialschilderungen (kurze Beiträge zur Tektonik des Magmas I und II, Geologische Rundschau 1923) darf ich mich hier auf das Prinzipielle beschränken. Eine monographische Beschreibung geht im Laufe dieses Jahres in Druck. Die Aufnahmen wurden vom 15. 8. bis 27. 10. 1922 ausgeführt von R. Balk, H. und E. Cloos, F. K. Drescher, H. Scholtz und H. Stenzel.

schneiden dieselben. Besonders an der Oberseite ist dieser eigentümliche Verband oft und gut aufgeschlossen. Die steilen Gneisschiefer stehen dann auf einer flachwellig auf- und absteigenden Granitoberfläche wie Bücher auf einem Bücherbrett. Ist, wie zu-



Fig. 7. Flache Platte von feink. Granit mit Schollen von Diorit in steilstehendem Gneis. Über der Schrottenbaumühle an der Ilz (Bayr. Wald).
Nach R. Balk.

meist, die Unterfläche verdeckt, so entsteht schon bei diesen kleineren Vorkommen der Eindruck, daß Gestein abgeschnitten und in den Granit aufgenommen worden sei. Tatsächlich aber läßt sich seine Fortsetzung in vielen Fällen unverändert, ja nicht einmal abgelenkt an der Unterseite wiederfinden, und der Granit hat nichts Fehlendes beseitigt, sondern Vorhandenes nur auseinandergedrängt. Das klarste Beispiel hierfür liegt in einer der Graphitgruben im Osten von Hauzenberg, wo Schächte und Stollen denselben Graphit mit demselben ostwestlichen Streichen und senkrechten Fallen über und unter einer 26 m dicken beinahe wagerechten Granitplatte abbauen. Die Unterfläche selbst war

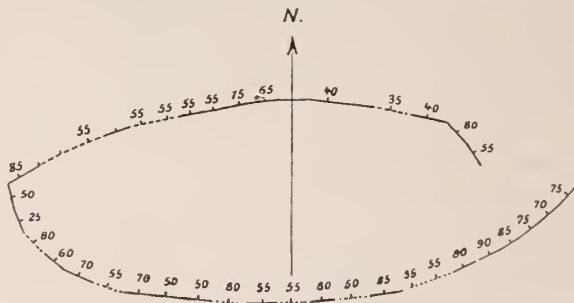


Fig. 8.

zur Zeit unserer Untersuchungen außer in diesen Bergbauaufschlüssen noch an über 70 Stellen über Tage sichtbar. Doch bedurfte es oft größter Sorgfalt und Aufmerksamkeit, um sie unter dem Schuttbelag des hangenden Granites zu finden. Daß der Stein-

bruchsbetrieb die Liegendgrenze nicht leicht freilegt, ist verständlich. Denn die Steinbrüche gehen gewöhnlich in die geneigte Granitplatte von der steilen Stirnseite hinein und kommen also im Laufe des Abbaues ins Hangende. Stellt man die bisher beobachteten Unter- und Oberseiten graphisch zusammen, so erhält man ein Oval, das gewissermaßen den idealen, von sämtlichen Einzelbeispielen abgezogenen Querschnitt wiedergibt (Fig. 8). Diese Grundform läßt sich demnach mit einer Zunge vergleichen, deren Wurzel im NO liegt, während die Spitze flach nach SW vorgestreckt ist.

Die geringste Mächtigkeit bei größter Ausdehnung im Streichen zeigen einige Dioritplatten, die R. Balk im Ilztal und seinen Nebentälern auffand. Es sind kaum meterdicke gebrechliche Septen, die Quadratkilometer weit quer durch das Gneisgebirge hindurchsetzen. Andererseits gibt es Platten von 100 m Mächtigkeit und darüber wie z. B. diejenige, in der der große Steinbruch von Büchelberg sein mittelkörniges Material abbaut. Sie kehren ihre Stirnseite nach Süden und heben sich inselförmig über das Gneisplateau heraus, das sie mit ihrem Schutt weithin überrollen. Da außerdem fast jeder dieser größeren Körper in Steinbrüchen aufgeschlossen ist, der Gneis aber fast niemals, so konnte leicht der irrtümliche Eindruck entstehen, als ob das ganze Gebiet des Passauer Waldes wesentlich durch Granit bestritten würde.

Größere Körper, eigentliche Massive, können, wie gesagt, aus solchen diskordanten Lagergängen hervorgehen, wenn auf denselben Bahnen mehr Schmelzmasse zugeführt wird. Waren die ersten geringeren Zufuhren inzwischen schon verfestigt, so können sie von den reicheren Nachschüben abgeschnitten und durchsetzt werden. So erklärt es sich, daß im Gelände die feinkörnigen Granite (der kleinen Körper) älter erscheinen als die mittel- und grobkörnigen (der größeren), und daß sich in den feinkörnigen unter der regenerierenden Einwirkung der reicheren Nachschübe charakteristische Umwandlungen vollziehen (Glimmerknoten usw.).

Die großen Massive des Gebietes haben nun nicht nur eine größere Bodenfläche, sondern sind auch — absolut und relativ zur Bodenfläche — mächtiger. Sie sind also im ganzen gedrungener als die kleinen. Diese Regel, die auch bei den echten Lakkolithen zutreffen dürfte, erklärt sich doch wohl daraus, daß mit zunehmender Mächtigkeit der Stirnwiderstand größer wird als die Belastung.

Im Gebiet des Passauer Waldes kommen zwei große Massive vor, dasjenige von Hauzenberg und das Saldenburger Massiv. Von ihnen ist (nach den Aufnahmen von H. Scholtz) das zweite zweiseitig, indem ein größerer und jüngerer Kern aus grobkörnigem und porphyrischem Kristallgranit von einem mittelkörnigen, etwas älteren, nichtporphyrischen Granit, dem von uns sogenannten Tittlinger Granit, unvollkommen umrahmt wird. Wir müssen uns nun an den großen Massiven die einzelnen, für unser Problem wichtigen Organe etwas näher ansehen, wobei ich die meisten Beispiele aus dem von mir und meinem Bruder Ernst untersuchten Hauzenberger Massiv entnehmen will (Fig. 9—11).



Fig. 9. Strukturkärtchen des südl. Hauzenberger Granitmassivs. Punktiert: feinkörniger Granit. Weiß: mittel- und grobkörniger Granit. Südlich davon die Gneisunterlage. Pfeile bezeichnen das Streichen und Fallen der linearen Streckung. Senkrecht darauf streichen und fallen die Q-Klüfte (nach der Kartierung des Verfassers).

Die Unterfläche oder der Boden des Massivs ist gegenüber derjenigen der Lagergänge wenig verändert. Sie ist fast eben, höchstens leicht gewellt, liegt auf viele Quadratkilometer beinahe wagrecht und schneidet die steilstehenden Gneise und Amphibolite der Unterlage glatt ab. Im ganzen dürfte sie jedoch leicht nach abwärts gebogen sein. Doch waren Störungen der Unterlage durch den Granit nirgends zu sehen. Im Gegenteil: In dem durch den

Südteil des Hauzenberger Massivs weit und tief in seine Unterlage hineinschneidenden Tiesental treten dieselben Amphibolite, die östlich und westlich des Massivs unter dem Granit verschwanden, mit gleichem Streichen und Fallen wieder zutage (Fig. 9 und 10).

Die Oberseite des Massivs ist emporgewölbt und zwar zu einem schönen, regelmäßigen, flachen Schild. Der Vergleich mit einer Zunge liegt infolgedessen bei den großen Massiven noch näher als bei den kleinen. Diese Wölbung ist es auch allein, die für den wohlgerundeten Umriß solcher Massive in der Karte verantwortlich ist. Der Grad der Wölbung ergibt sich für das Hauzenberger Massiv, wenn man die auf dem Granit aufruhenden

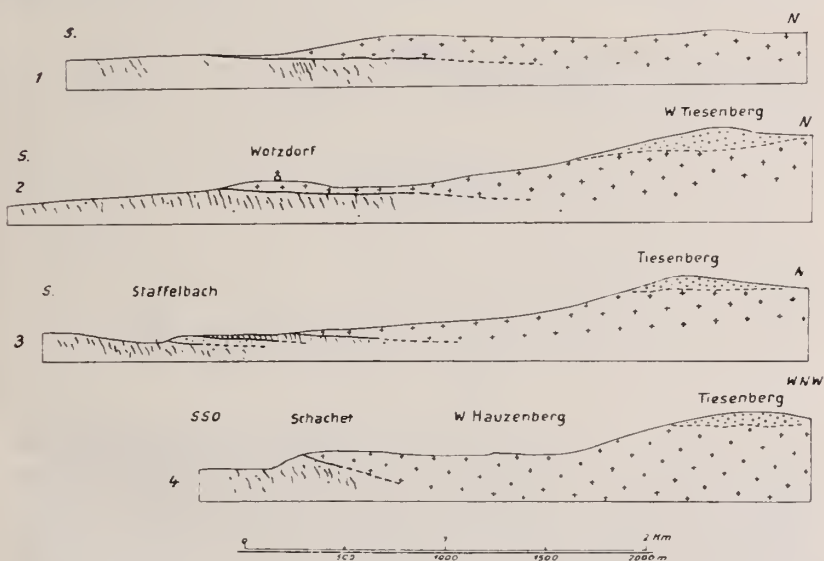


Fig. 10. Vier Profile durch das südl. Hauzenberger Massiv. Kreuze: mittel- und grobkörniger Granit. Punkte: feinkörniger Granit. Steile Striche: Gneisgebirge. (Vgl. Fig. 9.)

großen Schollen als Reste des Daches betrachtet: Im Süden steigt die Oberseite zunächst sehr langsam an, die „Zungenspitze“ ist also sehr spitz, dann hält sie sich längere Zeit auf 700 bis 900 m Höhe, um schließlich am Nordende gegen Waldkirchen zu etwas rascher abzufallen. Die Urform des Massives ist in der heutigen Oberfläche noch fast vollständig erhalten, so daß, wie so oft, von dem eigentlichen Granitkern verhältnismäßig wenig entfernt ist (Fig. 11).

Die Deckenreste auf der Höhe des Massives bestehen überwiegend aus feinkörnigen Vorläufern. Es sind riesige Schollen von

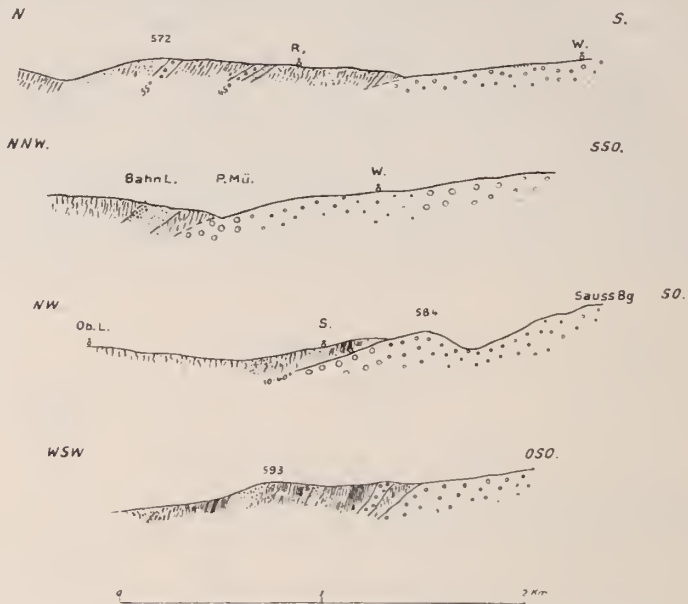


Fig. 11. Vier Profile durch das nördliche Hauenberger Massiv (nach E. Cloos).

1—2 km Länge, die hier auf und in dem mittelkörnigen Granit des Massives liegen und von ihm durchbrochen, durchtränkt und verändert werden. (Großartige Aufschlüsse des Verbandes liefern die bekannten Steinbrüche von Bauzing und dem Neidlinger Berg, während am Tiesenberg teils der mittelkörnige Massivgranit, teils der feinkörnige seiner Dachschollen abgebaut wird.) Nimmt man an, daß diese Schollen nicht auf, sondern in dem Hauptgranit gelegen haben, so erhöht sich die Massivoberfläche entsprechend.

Im Innern des Massivs finden sich Nebengesteinsschollen fast gar nicht. Ab und zu begegnet uns ein vereinzelter Gneis- oder Schieferbrocken, aber auch diese meist scharfkantig, als Beweis für die geringe Schmelzwirkung des Granites.

Die Spitze der Massivzunge ist begrifflicherweise nur selten aufgeschlossen, da sie in der Regel entweder unter das Aufschlußniveau versenkt oder aber bereits erodiert sein wird. Das letztere scheint am Hauenberger Massiv der Fall, während am Süden

des Saldenburger Massivs, an der Rockmühle bei Aicha, ausnahmsweise Unter- und Oberlage zugleich erhalten zu sein scheint und zwischen ihnen der Granit in einer oder mehreren Spitzen unregelmäßig auskeilt. Es scheint, daß bei den großen Massiven die Spitze meistens dünn und spitz ist, wenigstens im Verhältnis zur mittleren Mächtigkeit des Massives selbst. Bei den kleineren Zungen und Platten scheinen dagegen auch stumpfe und gerundete Formen vorzukommen.

Das Korn des Granites ist in der Zungenspitze begreiflicherweise feiner als in den dickeren Teilen des Massives. Umgekehrt wird es gegen die Zungenwurzel zu anscheinend etwas gröber als im Durchschnitt.

Über die seitlichen Endigungen der Zungen ist noch nicht viel bekannt. Die Unterlage ist hier nur selten aufgeschlossen. Die Oberfläche aber fällt im Norden ziemlich flach, im Süden steiler von dem Granit weg nach außen. Die Kartierungen und Messungen von E. Cloos haben für den Nordwestkontakt des Hauzenberger Massives eine große Zahl zuverlässiger Angaben geliefert (Fig. 11). Danach scheint es, als ob die Zunge nach den Seiten zugerundet sei, so daß ihr Querschnitt ein unten abgeplattetes Oval ergeben würde, d. h. dieselbe Form, die wir aus der idealen Zusammenstellung der kleinen Körper gewonnen hatten (oben S. 16). Alles dies würde wiederum den Erfahrungen bei echten Lakkolithen beinahe gleichkommen.

Am schwersten ist natürlich die Wurzel zu erkennen. Unmittelbar aufgeschlossen ist sie vielleicht nur bei einigen sehr kleinen Individuen. Wie weit gewisse kleine steile Stöcke in der Pfahlzone ihrerseits als Wurzeln abgetragener größerer anzusehen sind, läßt sich vorläufig noch nicht sagen. Doch läßt sich die für uns wichtigste Frage, ob die Wurzel dünner oder dicker ist als das Massiv, auf indirektem Wege beantworten. Wäre sie dicker, so müßte bei der großen Zahl verschiedener Abtragungsstufen, die in dem Gebiet vereinigt sind, die Verbreitung der Granite in der Wurzelregion größer sein als südlich davon. Wäre sie dünner, kleiner. Tatsächlich ist der Anteil des Granites am größten mitten zwischen dem Pfahl und der Donau. Von hier aus nimmt er gegen die Donau langsam, gegen den Pfahl hin rasch ab. In der Pfahlzone selbst, die nach der Lagerung als gemeinsame Wurzelzone zu gelten hat, tritt Granit sehr zurück und ist auf unmächtige, ausgeschwänzte, steil in die Tiefe setzende Rudimente beschränkt.

Das gleiche Bild geben die kleinen Massive, wenn man sie als Modelle der größeren ansieht. Daß jene in Richtung auf ihre Wurzel breiter und dicker würden oder auch nur eins von beiden, ist nicht beobachtet worden. Dagegen ist umgekehrt ein Zusammengehen im Streichen und im Fallen in nordöstlicher Richtung mehrfach wahrzunehmen. Ein vollständigeres Bild wird sich erst aus den Darstellungen von R. Balk und E. Cloos, die hauptsächlich diese Gebiete erforscht haben, gewinnen lassen. Doch kann man schon heute den Schluß ziehen, daß die Intrusivkörper des Passauer Waldes nach Nordnordosten untertauchen und sich hierbei möglicherweise verjüngen, ja ausschwänzen. Es erscheint mir durchaus möglich, daß die Granite buchstäblich wurzellos sind, insofern sie mit tieferen Herden, aus denen sie ausgequetscht wurden, keine Verbindung, auch keine unterirdische mehr besitzen.

Die Tektonik

Wie haben wir uns nun das Eindringen dieser flachen Diorit- und Granitzungen in ein steil gefaltetes und geschiefertes Gneisgebirge zu denken?

Zur Beantwortung dieser nicht ganz einfachen Frage müssen wir außer der eben besprochenen äußeren Form und Lagerung der Intrusivkörper auch noch ihre innere Tektonik heranziehen. Diese, die eigentliche Granittektonik, war es, die uns ursprünglich in den Bayrischen Wald gelockt hat. Es lag mir daran, die tektonischen Elemente des Granits, die ich in einem so verworren gebauten Gebiete wie Schlesien abgeleitet hatte, nun im Rahmen einer regelmäßigen gut bekannten Regionaltektonik kennen zu lernen. Es lag mir ferner daran, die lineare Streckung des Granits in feste Beziehung setzen zu können mit flächenhafter. Beide Erwartungen haben sich erfüllt und die früheren Ergebnisse besser und vollständiger bestätigt, ergänzt und bereichert als ich irgend hatte hoffen können. Etwas ganz neues kam erst hinzu, als sich herausstellte, daß im Bayrischen Wald der ganze Apparat der Granittektonik im Innern jener ganz dünnen, flachen, vom Untergrunde und Herde gelösten Platten ebenso gut und vollständig entwickelt ist wie in den mächtigen Granitblöcken Schlesiens. Ja mehr als das; es stellte sich heraus, daß die tektonischen Elemente von der Begrenzung der einzelnen Granitkörper fast unabhängig sind, daß sie aus dem

einen in den andern überspringen, wobei sie durch die trennenden Gneiswände oder Böden unterbrochen aber nicht abgelenkt werden. Diese Tatsache, die offenbar mit der großen Bildungstiefe der Intrusionen zusammenhängt, wird durch den Verlauf der auf der Streckung senkrecht stehenden Haupt- und Q-Klüfte besonders deutlich. Im Hauzenberger Massiv (Fig. 9) streichen diese ungefähr senkrecht zum Pfahl von Nordnordosten nach Südsüdwesten, jedoch so, daß sie in der Zungenspitze leicht gegen Westen umbiegen. Sie treten mit gleicher Streichrichtung an alle Grenzflächen dicht heran, gleichviel, ob diese vom Granit wegfallen wie im Norden und Nordwesten oder auf ihn zu wie im Südosten oder flach unter ihn wie im Süden; gleichviel auch, ob die Grenzfläche parallel, spitzwinklig oder rechtwinklig zu den Klüften streicht. Dies Verhalten ist etwas verschieden von dem bisher an andern Massiven beobachteten, wo gewöhnlich die Mikrotektonik durch den Kontakt in der Ausbildung beeinflußt und in der Richtung abgelenkt wurde. So ist es auch möglich, daß kleinere Zungen in der Umrahmung des Hauzenberger Massivs die gleiche Klüftung zeigen wie dieses selbst, die Klüftung des letzteren also sozusagen fortsetzen. Daß dabei die Klüftung in den dazwischen liegenden Gneisen aussetzt, ist auf den ersten Augenblick verwunderlich, versteht sich aber, da die Gneise schon vorher anders geklüftet waren, von selbst.

Eine gewisse Selbständigkeit zeigt das Hauzenberger Massiv insofern, als das Einfallen der Q-Klüfte innerhalb des Massives einen symmetrischen Fächer bildet. Sie stehen in einer breiten Scheitelzone des Massivs senkrecht oder fast senkrecht und neigen sich nach Osten bzw. Westen über 80 bis zu 75 und 70°. Aber auch diese Fächerstellung geht in die meisten der kleineren Trabanten und Vorläufer weiter, wo sie gewissermaßen als Aufrichtung durch das größere Kernmassiv in die Erscheinung tritt.

Mit den Q-Klüften geht wie gewöhnlich die auf ihnen senkrecht stehende Streckung. Sie streicht durch das ganze Massiv WNW, d. h. parallel dem durchschnittlichen Streichen der Gneise, so daß das Massiv als ein harmonisches betrachtet werden muß. Ebensolches gilt von den kleineren Nachbarn. Das Fallen aber ist sinngemäß so gerichtet, daß es innerhalb des großen Massives ein regelmäßiges flaches Gewölbe bildet, dessen Scheitel sehr breit ist, in der Mitte des Massivs liegt und NNO streicht. Diese Gewölbebildung ist so gesetzmäßig, daß ich schon nach der

Untersuchung des östlichen, bei Hauzenberg gelegenen Massivflügels den Verlauf der Westgrenze auf der Karte auf wenige 100 m richtig voraus bestimmen konnte.

Bis dahin brachte die Granittektonik nur Bestätigungen. Überraschend dagegen war die Tatsache, daß die Wölbung der Streckung und die Fächerstellung der Q-Klüfte bis in die flache dünne Zungenspitze des Hauzenberger Massivs hineingingen und zwar vollkommen unverkümmert und unabgelenkt. Demgegenüber verbietet sich die sonst so nahe liegende und von mehreren Fachgenossen angesichts meiner Strehleiner Darstellungen gemachte Annahme, daß die Wölbung des Massivs unmittelbar auf das vertikale Aufsteigen und Nachdrängen des Granits aus der Tiefe zurückginge. Ein Zusammenhang mit der Materialzufuhr ist offenbar vorhanden. Denn der Gewölbescheitel liegt an der dicksten Stelle des Massivs. Aber der Zusammenhang ist komplizierter.

Daß sich die Wölbung auch in die angrenzenden kleinen Stöcke fortsetzt, bietet dagegen keine Schwierigkeiten, da diese etwas älter sind und die Wölbung in ihnen vorläufig auf Hebung durch das Hauptmassiv zurückgeführt werden darf.

Ich mußte auf die Einzelheiten etwas näher eingehen, da sie für die Mechanik der Massivbildung sehr bedeutsam sind: Offenbar herrschte während des Empor- und Eindringens des Granites ein scharf gerichteter Druck, der das gesamte Gebirge — Gneis und Granit — gleichermaßen erfaßte und in NNO-SSW Richtung leicht zusammendrückte.

Für die polare Orientierung dieses Druckes ist die Verknüpfung der linearen Streckung mit einer flächenhaften von Wichtigkeit. Parallelstellung der Granitmineralien in einer Ebene ist nicht häufig, aber in gut meßbaren Beispielen über das ganze Gebiet verteilt. Stets fällt alsdann, was vorher nicht selbstverständlich war, die Streichrichtung der Fläche mit der Horizontalprojektion benachbarter linearer Streckung zusammen. D. h. die flächenhafte Paralleltuktur oder Schieferung der Granite streicht ebenso wie die ältere zur Bildungszeit der Granite bereits vorhandene Schieferung und Schichtung der Gneise! Und auch das Fallen ist das gleiche wie bei den Gneisen. In allen Beispielen mit ganz wenigen Ausnahmen ist es steil (60—90, meist 75°) nach NNO gerichtet. Die Paralleltuktur in den Graniten hat also dieselbe Stellung wie diejenige in gefalteten Schiefnern, auf welche ein einseitiger, von NNO nach SSW gerichteter Schub gewirkt

hat. Es verdient besonders hervorgehoben zu werden, daß eine solche steile und zwar primäre Schieferung sogar in dünnen flachliegenden Granitplatten vorkommt. Klar aufgeschlossen zeigt dies ein kleiner Steinbruch unter der Hauzenberger Bahnstrecke unweit des Hofes Knödsöd.

Die große Zahl anderer Beobachtungen aus dem Gebiete der Granittektonik dürfen wir hier übergehen. Wir kehren nun zum engeren Thema, dem Intrusionsmechanismus zurück.

Wir haben gesehen, daß fast sämtliche kleinen und großen Intrusivkörper nach Norden einfallen. Wir können ferner feststellen, daß dieses Einfallen in der Richtung von der Donau zum Pfahl durchschnittlich immer steiler wird. Die Wurzeln der Granit- und Dioritzungen konvergieren also gegen eine unter und vor dem Pfahl gelegene Zone. Wir finden ferner, wenn wir die Diorite und Granite voneinander trennen, daß erstere, also die basischen Vorläufer, in derselben den Pfahl begleitenden Zone gehäuft sind. In der gleichen Gegend findet sich aber auch die Hauptmasse der basischen Nachläufer des Granits, der Lamprophyre. Wir haben endlich an Hand der Mikrotektonik festgestellt, daß die Magmenförderung unter einem einseitigen, wenn auch leichten, von NNO gegen SSW fortschreitenden Schube vor sich geht. All dies fügt sich zusammen zu der Vorstellung, daß zahlreiche Granite und Diorite des Passauer Waldes aus der Pfahlzone selbst emporgepreßt und von hier nach Süden in die anstoßende Scholle schräg emporgetrieben worden sind. Der Pfahl selbst erscheint gewissermaßen als die tektonische Narbe, zu der sich eine breit und lang klaffende Wunde in der Erdkruste nach der Ausstoßung ihres Magma-inhaltes wieder geschlossen hat. Ich habe an anderer Stelle gezeigt, was für den vorliegenden Zusammenhang bedeutungslos ist, daß schon die Granitgneise aus derselben Pfahlzone gefördert und mit ihrer Sedimenthülle nach Süden gewälzt zu sein scheinen.



Fig. 12. Schematisches Profil durch die Scheinbatholithen des südlichen Bayrischen Waldes. Schwarz: Granit und Diorit.

Der Intrusionsvorgang

wie wir ihn hiermit kennen gelernt haben, ist einfach und einheitlich. Ein Raumproblem gibt es ihm gegenüber ebensowenig wie ein Stoffproblem, da der neu zutretende Granit die vorhandenen Gesteine zwar nach oben und den Seiten verdrängt, aber nicht beseitigt, geschweige denn aufzehrt. Wenn auch zweifellos vielfach Schollen vom Dache abgebrochen und unter Umständen sogar im Granit zergangen sind (ich komme auf diese Einschränkungen

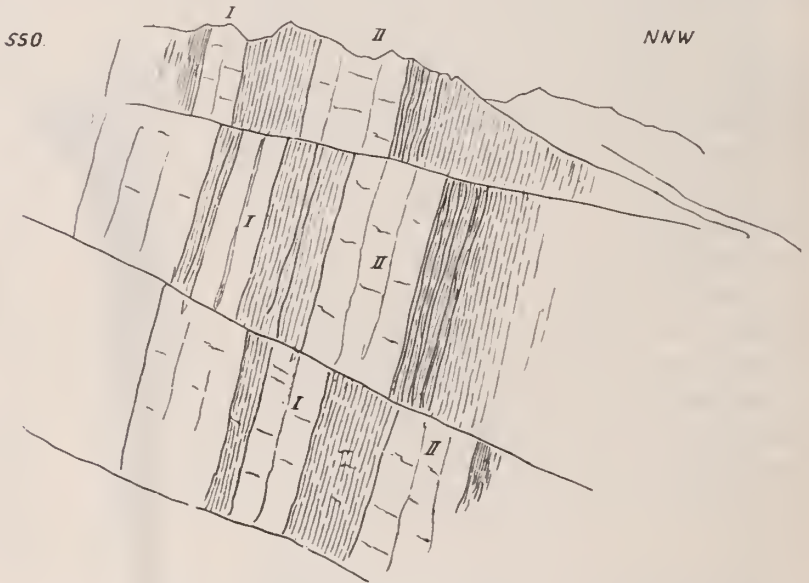


Fig. 13. Flache, diskordante Verschiebungsklüfte in steilstehenden Schichten.
Bhf. Eisenbrod in Böhmen.

im Schlusse noch zurück), so dürfen wir doch festhalten, daß der gesamte Massivraum neu geschaffen wurde und daß seine Füllmasse selbständig, von Verunreinigungen durch das Nebengestein im großen und ganzen frei ist. Damit ist eine Forderung erfüllt, welche die Gesteinslehre von jeher an den Mechanismus der Intrusion stellen mußte, welche aber der Batholithenbegriff nicht zu befriedigen vermochte.

Ernste mechanische Schwierigkeiten bietet nur noch die Entstehung der Eintrittsfugen und ihre Erweiterung durch den Granit. Was zunächst diese flachen und beinah mathematisch ebenen, durch ein vorher steil gefaltetes, hochgradig

heterogenes Schiefergebirge hindurchschneidenden Zuführungsflächen selbst angeht, so ist es möglich, daß diese als geschlossene Fugen schon vorgebildet waren, möglich aber auch, wenn auch nicht wahrscheinlich, daß sie während der Granitzufuhr und durch dieselbe erst erzeugt wurden. Flache, diskordante Lagerklüfte sind im Falten- und Schollengebirge eine sehr häufige Erscheinung, aber, da man bisher mit ihnen kein besonderes Interesse verband, kaum beachtet, nie systematisch erforscht worden. Ihre Bildung könnte auf den Druck des Hangenden zurückgeführt werden, so daß sie etwa als Flächen gleich starker Belastung oder als rohe Andeutung einer transversalen Belastungsschieferung anzusehen wären. Man könnte aber auch daran denken, sie aus dem seit-

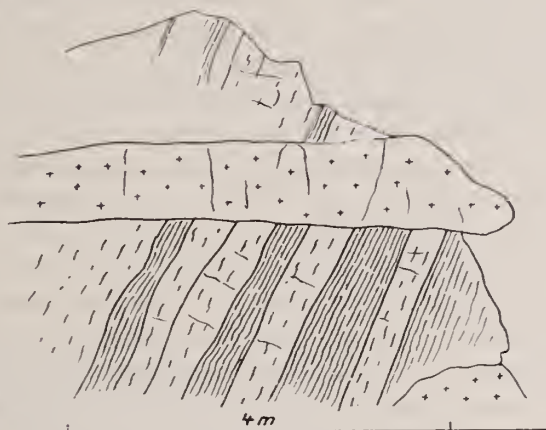


Fig. 14. Diskordanter Flachgang in steilstehenden Gneisen. Strehlen.

lichen Druck von NNO abzuleiten, zu dem sie alsdann ähnlich stehen würden wie die alpinen Deckenflächen zu dem sie erzeugenden Schube. Hierüber müssen noch eingehende Untersuchungen angestellt werden (vgl. Fig. 13 u. 14).

Aber selbst diese Fugen als vorher vorhanden und als mechanisch erklärbar vorausgesetzt, so bleibt doch noch die Frage, was den Granit veranlassen konnte, über große Entfernungen einer oder wenigen Fugen quer durch das Gefüge des Nebengesteins zu folgen.

Man könnte daran denken, die echten konkordanten Lakkolithen zu Rate zu ziehen, indem man die flachen Klüfte im gefalteten Gebirge den flachen Schichtfugen im ungefalteten

mechanisch gleich setzt. Tatsächlich bestehen in den Formen wie in der Lage und Verwendung der Zufuhrwege große Ähnlichkeiten. Die schönsten Beispiele liefert bekanntlich die amerikanische Literatur. Viele der dort abgebildeten Stöcke gleichen in Grundriß und Querschnitt den unsrigen; die peripherische Lage des Zufuhrkanals darf man als eine Zufälligkeit zunächst beiseite lassen, doch kommen solche Beispiele auch unter den Lakkolithen vor. In Deutschland könnte man an die Intrusivlager und Stöcke des Rotliegenden denken, wie sie in Schlesien bekannt sind und wie sie aus der Pfalz O. M. Reis mit bekannter Sorgfalt beschrieben hat (Lit. 46, 47 u. a.). Begegnen uns bei Reis doch gelegentlich sogar diskordante Teilstrecken. Der Vergleich wird noch weiter erleichtert, wenn wir lesen, daß neuerdings auch bei den amerikanischen Lakkolithen an gleichzeitige Mitwirkung seitlichen, tektonischen Druckes gedacht wird.

Aber diese Beziehungen zur Lakkolithenliteratur haben für uns mehr den Vorteil einer Rechtfertigung als einer Erläuterung. Die Lakkolithen beweisen, daß beim Vorhandensein flacher Zufuhrbahnen solche Gebilde möglich sind, aber sie lehren uns über den Mechanismus der Zufuhr selbst noch sehr wenig. Es kommt ein vielleicht sehr tief liegender Unterschied hinzu: Die genannten Lakkolithen sind fast ausnahmslos mit Gesteinen vom Charakter der Ergußgesteine gefüllt; wir aber haben es mit Graniten zu tun. Die geringe Größe der Lakkolithen erklärt diesen Gegensatz nicht, denn im Bayrischen Wald bestehen ja auch die aller kleinsten Gebilde noch aus wenn auch sehr feinkörnigen Graniten und Dioriten. Eher käme hier die größere Krustentiefe der bayrischen Intrusionen in Frage, aber mit größerer Tiefe wächst auch die Last des Hangenden und damit der Widerstand gegen die Aufwölbung, ändern sich also die mechanischen Bedingungen. Auch klaffen bekanntlich zwischen den Granit- und den Porphyrstöcken des deutschen Gebirges noch andere Gegensätze, die sich noch nicht überbrücken lassen.

Einen viel engeren Vergleich gestatten dagegen die wenigen großen Granitlakkolithen der Erde, unter denen diejenigen von Sudbury und vom Buschfeld in Transvaal die bekanntesten sind. Der letztere, den ich selbst kennen gelernt habe, liegt zwischen wenig gestörten, flach ausgebreiteten alten Sedimenten und folgt über eine Fläche von der Größe Süddeutschlands fast einer einzigen Fuge; er ist also ein riesenhafter Lagergang. Die seitliche Aus-

breitung scheint hier durch eine besonders günstige Beschaffenheit der Bewegungsfläche — sie fällt mit einer leichten Formationsdiskordanz zusammen — ganz besonders erleichtert. Man könnte daraus den Schluß ziehen, daß die geringere Größe und größere Zahl der bayrischen Granite (und anderer noch zu besprechender deutscher Beispiele) die Folge weniger günstiger Nebengesteinsverhältnisse wäre. Hier wo der Granit ein eng gefaltetes Gebirge vorfand, das nur von schlecht ausgebildeten Kluffugen durchzogen war, kam es nur zu kleinen, dafür aber zahlreich übereinander geschichteten Einschaltungen, von denen viele bloß als halb oder gar nicht gelungene Versuche gelten können. In diesem Sinne würden die diskordanten Massive des deutschen Gebirges die einfache und selbstverständliche Folge davon sein, daß es in Mitteleuropa zur Granitzeit große flachliegende Sedimenttafeln nicht mehr und noch nicht wieder gab.

Diese Annahme erhält eine gewisse Stütze durch die Tatsache, daß sich in einem Gebiet, wo diese Bedingung erfüllt war, wie in Skandinavien, sofort auch die konkordanten Granitlakkolithen wieder einstellen. Hier ist vor anderen der Drammenlakkolith in Norwegen zu nennen, der nach Bröggers bekannter Darstellung zwischen flache silurische Schichttafeln nahe ihrer Untergrenze eingeschaltet ist und dabei hauptsächlich den Schichtfugen folgt (Lit. 4, sowie 31, Fig. 41, S. 148). Ramsay fand sogar auf Kola einen großen Lakkolithen, „der wahrscheinlich in eine nunmehr wegdenudierte Sandsteinformation intrudiert worden ist“ (Lit. 31, S. 37 und 168).

Nur so viel über die eigentlichen konkordanten Granitlakkolithen. Wenn wir die dortigen Erfahrungen auf die „diskordanten Lakkolithen“ des Bayrischen Waldes und anderer später zu schildernder Beispiele übertragen dürfen, so würde sich etwa folgende Vorstellung ergeben:

Aus tieferen Teilen der Erde emporsteigend, schafft sich die Schmelzmasse dadurch Raum, daß sie in flache und daher von den Seiten nicht zusammengepreßte Fugen übertritt und deren Oberlage empor-, ihre Unterlage hinabdrückt. Wenn dabei flach liegende Schichtfugen zur Verfügung stehen, so werden diese bevorzugt und es entsteht ein eigentlicher, konkordanter Lakkolith. Fehlen dagegen solche, so können unter Umständen flach oder schräg liegende Klüfte Ersatz bieten. Der Verband des Granits mit seiner Ober- und Unterlage sieht alsdann zwar völlig anders

aus, in der Entstehung herrscht jedoch kein wesentlicher Unterschied, der Gegensatz liegt vielmehr nur in der zufälligen Lagerung des Nebengesteins. War tektonischer Druck an der Emporpressung des Magmas beteiligt, so gewinnt er auch auf seine seitliche Vorwärtsbewegung Einfluß. Hieraus erklärt sich die scharfe innere Tektonik der flachen Massivteile, hieraus vielleicht auch die Bevorzugung flacher Eintrittsfugen, die der Schmelze gestatten, sich in der vom Seitendruck nicht getroffenen vertikalen Richtung auszudehnen.

Doch betrachte ich auch mit dieser Anlehnung an echte Lakkolithen den Bildungsmechanismus diskordanter Massive noch keineswegs als geklärt. Hier bleibt der Beobachtung im engen Verein mit physikalisch-mechanischen Überlegungen noch viel zu tun. Wie aber das Ergebnis auch ausfallen möge, der geologische Vorgang selbst ist in jedem Falle grundverschieden von den Vorgängen, die man bisher für die äußerlich doch so ähnlichen Batholithen verantwortlich gemacht hat. Auch wo keine Unterfläche sichtbar ist, tritt der Gegensatz schon im Wesen der Oberseite scharf zutage. Erscheint diese beim Batholithen als die zufällige Summe zahlloser Vorstöße des Granites und Ausbrüche aus dem Dache, so bildet sie hier genetisch eine Einheit. Wir haben gesehen, das sich dieser Gegensatz in der Mikrotektonik der Massivoberseite widerspiegelt und daß wir also an ihr ein wichtiges, wohl das wichtigste Kriterium besitzen, um die Bildungsweise der Oberseite und damit des ganzen Massivs zu prüfen.

Das Lausitzer Granitmassiv

Wenn ich nun damit beginne, die örtlichen Erfahrungen und Gesichtspunkte aus dem Bayrischen Walde auf andere Gebiete zu übertragen, so kann dies natürlich nur mit der größten Vorsicht geschehen. Nur eine Möglichkeit; keine Notwendigkeit, soll gezeigt werden; nur wie Batholithen entstanden sein können, nicht wie sie entstanden sein müssen, haben die neuen Untersuchungen im Süden der Böhmischen Masse gezeigt.

Wenn ich nun gerade bei dem größten unserer Granitmassive einsetze, so geschieht dies nicht allein, weil die Größe der Aufgabe besonders lockt, sondern vor allem, weil gerade mit der Größe die Schwierigkeit und Unwahrscheinlichkeit der alten Auffassung zunimmt, während die neue davon nicht berührt wird.

Denn mit der Massivoberfläche wächst ja auch der Massivinhalte und damit die Menge des nach der Batholithentheorie verschwundenen und aufgezehrten Nebengesteinsmaterials. Wer vermöchte allen Ernstes zu glauben, daß in dem ganzen riesigen Landstreifen zwischen Görlitz und Dresden tatsächlich ein Krustenblock von fast 5000 qkm Grundriß und Dutzenden von Kilometern Dicke vom Granit vertilgt worden wäre, ohne daß dieser die Zusammensetzung der Kruste angenommen hätte, oder seine Energie erlahmt wäre! Aber auch wenn man entgegnet, daß mit dem Querschnitt des Massivs ja auch die zugeführte Masse selbst wachse: welche unbegreifliche Kraft wäre imstande gewesen, einer Aufschmelzungsmasse von solchem Querschnitt wenige hundert Meter unter der damaligen Erdoberfläche Halt zu gebieten? Denn auf weite Strecken wird der wahrscheinlich oberkarbonische Granit nur von unterkarbonischen Schichten, d. h. also von den jüngsten kaum gebildeten wenig mächtigen Ablagerungen, sozusagen dem damaligen Diluvium überdeckt. Wenn irgendwo, so ist hier das mehrfach hervorgehobene Problem des Daches (s. o. S. 12) brennend. Es muß weiter auffallen, daß eine Durchbruchsmasse von solchem Energie- und Stoffgehalt auf fast allen Seiten an schmalen, sozusagen gebrechlichen Schicht- oder Strukturgrenzen Halt macht. Im Südwesten insbesondere sind es ganz bestimmte Horizonte des Elbtal-Schiefergebirges, vor und in denen der Granit stecken bleibt, ihr Streichen und Fallen beinahe voll respektierend. Die Granitoberfläche gegen das Dach dagegen verläuft auf weite Strecken ganz auffallend flach und eben, ganz ähnlich den Oberflächen der bayrischen Lagergänge (s. Fig. 1). Die Grenze gegen das Syenitmassiv von Meißen aber bildet eine nur wenige 100 m dicke Gneißwand. Die Persistenz eines solchen „papierdünnen“ Septums zwischen zwei gewaltigen Schmelzmassiven ist eigentlich schon allein Beweis genug gegen die Entstehung der letzteren durch Aufstimmung oder Einschmelzung! Diesen und anderen Tatsachen und Schwierigkeiten wäre Rechnung getragen, wenn sich nachweisen ließe, daß das Lausitzer Granitmassiv eine flach liegende Platte ist, die sich in geringer Krustentiefe zwischen die vorhandenen Gesteine eingeschoben und dabei ihre Oberlage abgehoben hat. Es scheint mir, daß in der Mikrotektonik des Granites ein Mittel gegeben ist, das diese Annahme wenn auch vielleicht noch nicht beweisen, so doch in hohem Maße wahrscheinlich machen kann.

H. Stenzel hat in einer im Druck befindlichen Arbeit die tektonischen Elemente dieses ausgedehnten Gebietes mit großer Sorgfalt und Schärfe zusammengestellt. Eine kleine Übersicht davon konnte ich schon in meine Strukturkarte von Schlesien hineinarbeiten (Lit. 13, Taf. III). Zweck der Untersuchung war, zunächst die Druckverhältnisse im Granit während seiner Erstarrung klar zu stellen. Dies ist gelungen und hat ein Bild von großer Einheitlichkeit und Einfachheit geliefert. Daneben ergaben sich aber zahlreiche Daten über den Bau der ursprünglichen Massivoberfläche. Ich möchte die Einzelheiten der Arbeit selbst vorbehalten und hier nur sagen, daß einmal die Uroberfläche der heutigen auffallend ähnlich war und daß sie von der Elbe gegen Nordosten zu im großen und ganzen sehr sanft einfiel, im einzelnen jedoch in flachen Wellen auf- und abstieg. Es stellte sich ferner heraus, was schon oben für andere Beispiele vorausgenommen wurde, daß in dynamischer Beziehung diese flachwellige Massivoberfläche eine Einheit bildete, was sie bei einem Batholithen der alten Art nicht sein würde. Aus den vielen schönen Einzelbildern möchte ich nur dasjenige von Demitz-Thumitz herausheben, das ich gelegentlich der letzten Tagung den Mitgliedern der Deutschen Geologischen Gesellschaft vorführen konnte: Ein langgestreckter, nach NO blickender Steilabfall folgt daselbst dem primären Einfallen des Granits. Dieses verflacht sich im Vorland etwas und sinkt dann unter erhaltene Reste des Daches ein, das man also sinngemäß auf den Steilabfall hinauf verlängern darf. Dies enge Zusammengehen zwischen der Sohlfläche des Daches und dem feineren Bau der oberen Massivteile selbst ist meines Erachtens mit einem Intrusionsvorgang unvereinbar, der lauter einzelne Stücke aus dem Dache herausbricht, hier rascher, dort langsamer, und der Stück für Stück Granit an ihre Stelle setzt.

Wenn es sonach richtig ist, daß der Hauptteil des Lausitzer Massivs nicht von unten, sondern von einer Seite eingedrungen ist, so dürfte der Zusammenhang mit der Tiefe, die Wurzel also, in der Gegend des Elbtals zu suchen sein. Hierfür sprechen eine ganze Reihe von Tatsachen und zwar in einer Weise, die zugleich die neue Auffassung des ganzen Massivs zu stützen geeignet ist. Denn der Elbtallinie folgt vor allem das basischere Schwestergestein des Granits, der Meißener Syenit. Er begleitet den Südweststrand des großen Hauptmassivs über eine Strecke von 69 km Länge und 24 km Breite und zeigt dabei das typische Auftreten .

von Gesteinen, die aus einer schwachen Zone der Erdkruste, einer Art von Spalt in größtem Sinne, emporgequollen sind; er steht also zu dem Lausitzer Hauptmassiv ähnlich wie die Syenite und Diorite des Bayrischen Waldes zu ihren größeren Nachfolgern. Die Frage, ob wir dabei den Syenit als Vorläufer oder Altersgenossen des Granits ansehen, ist für unser Problem gegenstandslos. (Übrigens sind am Meißener Syenit selbst Stellen bekannt, wo er flach, aber diskordant auf älteren gefalteten Gesteinen aufruhrt, Lepsius, Geologie von Deutschland, Bd. II, S. 198f.). Ähnlich, wenn auch nicht ganz so gedrängt, stehen, worauf Stenzel hinweist, die Nachläufer des Lausitzer Granits. Die porphyrischen Gänge sind in einer der Elbtallinie in einer Breite von 10 km folgenden Zone gehäuft und treten sonst sehr zurück, während die vom Granit minder abhängigen Lamprophyre weiter gehen. Vor allem aber bildet längs der Elbtallinie der Granit selbst ein leichtes tektonisches Gewölbe, indem die Q-Gänge, die im übrigen Massiv südwestlich fallen, sich hier fächerförmig stellen und am Elbrand selbst gegen NO eintauchen. (Daß diese Wölbung nicht nachträglich entstanden sein kann, etwa im Zusammenhang mit der jungen Elbtalüberschiebung, woran man leicht denken könnte, geht aus der großen Zahl und Mächtigkeit alter an die Wölbung genetisch gebundener Gänge hervor.)

Man wird natürlich, nachdem erst einmal die Aufmerksamkeit auf diese Möglichkeit gelenkt ist, weiteres, zielbewußt gesammeltes Beobachtungsmaterial abwarten müssen. Wie ich mir solche Beobachtungen denke, zeige das Beispiel des Königshainer Granits, der bekanntlich als ein Stock in den Nordostteil des Lausitzer Massivs eingeschaltet ist. Seine eigentliche Umgrenzung war bisher nicht bekannt. Auch H. Stenzel hat sie nicht aufklären können, hat aber gezeigt, daß eine porphyrische Varietät des Königshainer Granits innerhalb dieses Stockes einen ganz flach liegenden Lagergang von etwa 150 m Mächtigkeit bildet. Ein großer Teil des Königshainer Granits besitzt also die für das ganze Lausitzer Massiv hypothetisch angenommene Gestalt. Man wird zugeben müssen, daß darin immerhin ein kräftiger Wahrscheinlichkeitsbeweis zunächst für den sogenannten Königshainer Stock, dann aber auch für das übrige Lausitzer Massiv enthalten ist.

Über die Mächtigkeit des flach liegenden Massivteils ist heute noch wenig zu sagen. An den dicksten, wurzelnahen Stellen werden 2000 m nicht zu hoch angesetzt sein, nach NNO

dagegen dürfte sie sehr viel geringer werden. Man wird vielleicht fragen dürfen, ob nicht die heutige Elbtalüberschiebung gerade die Platte von der Wurzel trennt und über sie schiebt, und ob sie nicht diesem Umstand ihre Entstehung mit verdankt (Fig. 15).



Fig. 15.

Daß das Lausitzer Massiv für einen diskordanten Lakkolithen zu groß sei, wird niemand mehr einwenden, nachdem wir ungleich größere, konkordante Lakkolithen im südafrikanischen Buschfeld und bei Sudbury kennen gelernt haben (s. oben S. 28)¹⁾.

Vergleicht man unter diesen Voraussetzungen die Lausitzer Granitplatte mit den Zungen des Bayrischen Waldes, so ergibt sich neben dem Größenunterschied und der spiegelbildlich anderen Lage zur Wurzel ein wichtiger, in späteren Einflüssen begründeter Gegensatz. Im Bayrischen Wald ist nachträglich die Wurzel gesenkt und die Zungenspitze gehoben worden. In der Lausitz ist das Umgekehrte der Fall. Dadurch wurde hier die Wurzel steil gegen die Platte abgesetzt, gut aufgeschlossen mit allen Einzelheiten. Dort ist umgekehrt die Spitze hoch- und freigelegt, während sich die Wurzel verbirgt. Einseitig dagegen sind alle beide. Jedesmal ist der Granit zwischen zwei Großschollen aufgedrungen, dann aber nur in die eine von beiden seitlich übergetreten. Daß diese seitliche Bewegung in beiden Fällen von der böhmischen Masse weg nach außen gerichtet war, ist vielleicht kein Zufall.

Das Brockenmassiv

(Mit Karte, Fig. 16)

Dieses wohl am sorgfältigsten und vollständigsten erforschte deutsche Granitmassiv liegt zur Harzrandlinie wie die bayrischen Waldmassive zum Pfahl und wie diese spiegelbildlich zum Lausitzer

¹⁾ Als ich gelegentlich der Breslauer Tagung der Deutsch. Geol. Ges. einem Kenner des Gebietes wie K. Pietzsch meine Anschauungen vortrug, gab er zur Antwort, daß er diese Überzeugung längst gehabt habe, daß man sie aber bisher, d. h. ohne Zuhilfenahme der Granittektonik, nicht habe beweisen können.

Massiv. Es erstreckt sich vom Harzrand nach Südwesten; die basischen Vorläufer beginnen an der Randlinie oder liegen auf ihr, alle Nachfolger folgen ihr. Ja, der jüngste, allein steil aus der Tiefe aufsteigende Teil des Massivs selbst liegt ganz innerhalb dieser wichtigen, alten, zur Granitzeit bereits deutlich angelegten Störungszone. Alle diese Tatsachen lassen sich ohne weiteres aus den bekannten Forschungsergebnissen O. H. Erdmannsdörffers herauslesen, auch soweit sie darin nicht ausgesprochen sind. Ich möchte noch einen Schritt weitergehen und folgern, daß auch der Granit des eigentlichen Brockenmassivs selbst aus derselben Wurzel entsprossen und von ihr aus seitwärts fortgewachsen ist.

Diese Annahme setzt zweierlei voraus. Einmal müßte der Brockengranit auf fremder Unterlage ruhen. Erdmannsdörffer hat dies selbst behauptet und die Unterlage — zu Eckergneis umgewandelt — nachgewiesen. Zum andern müßten die Gesteine, welche heute die Wurzelzone ausfüllen (verstopfen), ebenso alt oder jünger sein als der Brockengranit selbst. Auch dies stimmt mit den Forschungen Erdmannsdörffers überein. Erdmannsdörffer zerlegt bekanntlich das ganze Granitgebiet in zwei Teile, das Brockenmassiv im engeren Sinn und die Randzone. Man müßte also, wollte man den Brockengranit nicht aus der letzteren ableiten, für ihn eine eigene zweite Wurzel annehmen. Dies ist schon deshalb unwahrscheinlich, weil die Granitabarten des Brockens auch in der Randzone vorkommen. Eine große Zahl positiver Beweise oder wenigstens Anhaltspunkte kommen hinzu. Man braucht nur einen Augenblick die bei allen Einzelheiten so klare Übersichtskarte Erdmannsdörffers von 1905 anzuschauen (Lit. 23, Fig. 16), um wahrzunehmen, wie die Nachläufer des Granitmassivs eigentlich ohne Ausnahme auf die Randzone beschränkt, hier aber dicht gehäuft sind. Ganze kleine Stöcke von Granitporphyr steigen hier aus NW—SO streichenden Spalten empor, ungerechnet eine ganze Schar dünnerer und kürzerer Gänge. Demgegenüber muß das vollkommene Fehlen solcher Gänge im Bereich des Hauptmassivs sehr auffallen. Auch die Apophysen der Granite selbst folgen nach Zahl und Richtung der Randzone und fehlen den entlegenen Teilen des Kernmassivs in einer sehr bezeichnenden Weise. Schon gesagt wurde, daß vor allem der ganze jüngere Ilsensteingranit mit samt seiner Randfazies ausschließlich auf die Wurzelzone beschränkt ist. Er ist ihr in einer Weise eingefügt, daß man

ihn als den zuletzt geförderten und erstarrten Pfropfen ansehen kann, der die breite, als Zufuhrweg dienende Zerrüttungszone des alten Harzrandes verstopfte und verschloß.



Fig. 16. Geologische Übersichtskarte des Brockennassivs (nach O. H. Erdmannsdörffer. 1905). — Die Tiefengesteine sind dick nrahmt. Die Vor- und Nachläufer des Brockengranits sind dunkel gehalten und zwar die basischen Vorläufer schraffiert, die jüngeren Granite der Randzone pnktiert, Granit- und Granitporphyrgänge schwarz.

Auch die Vorläufer des Granits schließen, wie gesagt, an die Randzone an, wenn sie auch noch nicht mit ihrer Längsrichtung in dieselbe eingestellt sind. Auf diesen Unterschied

macht ebenfalls schon Erdmannsdörffer aufmerksam. Er hängt damit zusammen, daß die Vorläufer noch während der Faltung des Gebirges gefördert und daher in Richtung der Faltung gestreckt wurden, während die Randzone beinahe rechtwinklig zur Faltung verläuft. Der Gabbro des Radautales beginnt in der Randzone selbst und verschmälert sich nach Süden allmählich, bis er $6\frac{1}{2}$ km oberhalb verschwindet. Die Stellung dieses Gabbros zum Harzrand gleicht derjenigen einer Schmelzmasse, die einem Sattelkern seitens einer ihn kreuzenden Spalte zugeführt wurde. Eine zweite Vorläuferzone geht ganz entsprechend am Ostrand des Massivs von der Randzone aus und endigt bereits 5 km südlich, während der Granit sich bekanntlich über 16 km weit verfolgen läßt. Diese beiden größeren Stücke werden lose verbunden durch einige kleinere, die im Streichen der Randzone diese dicht südlich begleiten. Dabei ist der Verband der Diorite zu den ihnen nachfolgenden Graniten auch im kleinen ein auffallend ähnlicher, wie zwischen Diorit und Granit im Bayrischen Wald; ich komme auf diese interessanten Einzelheiten an anderer Stelle später zurück.

Dies alles deutet doch wohl darauf hin, daß man als Wurzel im engeren Sinne die den Ilsensteingranit unmittelbar südwestlich begleitende Zone anzusehen hat. In ihr sind die verschiedensten Gesteinsabarten am engsten miteinander verflochten; von ihr aus dürften zunächst die basischen Vorläufer und der eigentliche Brockengranit nach Süden vorgestoßen sein, danach wäre die Aufbruchzone, wie es Erdmannsdörffer beschreibt, nach Norden erweitert und mit den letzten Granitvarietäten gefüllt worden, auf welche dann die Gesteine der Ganggefölschaft folgten. Wenn diese Auffassung richtig wäre, so müßte man aber ferner erwarten, daß der flach liegende Teil, ebenso wie in den Beispielen des Bayrischen Waldes, von der Wurzel zur Spitze, also von NO nach SW dünner würde und schließlich auskeilte. Nun ist die Oberseite dieses Stückes nur im Süden bei Braunlage, St. Andreasberg usw. erhalten, die Unterseite dagegen im Norden im Eckertal. Erdmannsdörffer hat aus diesen Daten für den Brockengranit eine Mächtigkeit von 1400 m herausgerechnet. Nun besteht aber der flach liegende Teil aus zwei Granitabarten, die ihrerseits wiederum flach übereinander liegen. Von ihnen läßt sich nach Erdmannsdörffers Darstellung die tiefere Lage ziemlich weit zwischen ihrer Hangend- und Liegendgrenze hin verfolgen und danach scheint es, als ob sie von N nach S deutlich dünner würde

und schließlich beinahe auskeilte. Man brauchte also, die Richtigdieser Ableitung vorausgesetzt, nur die Annahme zu machen, daß die beiden Einzellagen an den Veränderungen der ganzen Platte teilnehmen, um wenigstens einen indirekten Beweis für deren Verschwächung nach S zu führen. Bevor man weiteres sagen kann, wäre also zunächst die Vervollständigung der Spezialkartierung abzuwarten.

Wenn es aber auf diese oder ähnliche Weise gelänge, das Brockenmassiv an die Beispiele des Bayrischen Waldes anzuschließen, so würde auch ein bisher bestehender Widerspruch zwischen Dach und Unterlage am Brocken schwinden. Erdmannsdörffer hat hervorgehoben, daß der Brockengranit gegen seine Unterlage lakkolithisch, d. h. konkordant sei, sein Dach aber abschneide. Nun lassen sich aber auch in den Eckergneisen starke, z. T. liegende Falten nachweisen, was auch Erdmannsdörffer schon mitteilt; besonders im NW des Forsthauses Scharfenstein fand ich solche gelegentlich einer Exkursion mit dem Breslauer Institut in den Pfingstferien des letzten Jahres in großer Zahl. Die Falten sind flach übergelegt und werden von einer flachen Schieferung geschnitten. Sind dies zunächst auch nur einzelne Stellen, so geht doch daraus hervor, daß die Granitsohle nicht der primären Schichtung, sondern der sekundären, nach Erdmannsdörffer erst durch den Granit selbst erzeugten Schieferung parallel geht, die Konkordanz also keine eigentliche und keine strenge ist. Im großen würde der Granit ebenso wie im Bayrischen Walde in eine diskordante Lagerfuge von der Seite eingetreten sein und diese erweitert und aufgetrieben haben. Zwischen dem Eckergneis unter dem Granit und den paläozoischen Gesteinen auf seinem Dache braucht also wiederum nicht viel zu fehlen¹⁾.

Ist meine Ableitung richtig, so steht also der Brockenlakkolith zum Harzrand wie die Passauer Massive zur Pfahlzone. Nur ist, ebenso wie in der Lausitz, hier nachträglich die Wurzel gehoben, die Spitze gesenkt (Fig. 17). Dadurch läßt sich die Wurzel selbst mit allen ihren interessanten Feinheiten und Spezialformen vortrefflich studieren, zumal sie auch noch von drei tiefen Quer-

¹⁾ Angesichts solch klarer Tatsachen ist es mir nicht verständlich, wie Bergeat in dem neuen Salomonschen Lehrbuch der Geologie der Erdmannsdörfferschen Auffassung des Brockenmassivs als Lakkolithen widersprechen und ihn den Batholithen anreihen kann.

tälern durchschnitten wird. Ferner kommt dadurch der Übergang der Zunge in die Wurzel zum Vorschein, ein Gebiet, das näheren

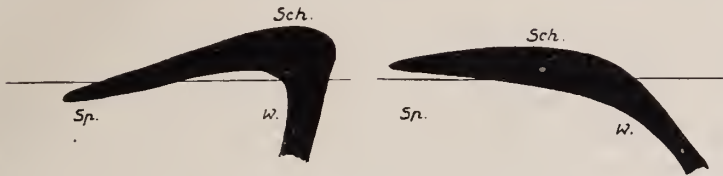


Fig. 17. Brockenmassiv (links) und Bayrische Massive (rechts) in Beziehung zu späteren Hebungen und zum Aufschlußniveau.

Studiums noch besonders wert ist. Die Spitze aber ist tief versenkt, und über ihren Ort und ihre Tiefenlage werden wir wohl nie etwas erfahren.

Die innere Tektonik des Granits ist, soweit wir sie heute kennen, unabhängig von seiner Zufuhrriichtung, verzeichnet vielmehr den regionalen varistischen Druck. Dies entspricht dem Verhalten des Lausitzer Massivs und weicht von den Beobachtungen in Bayern ab. Dagegen dürften in der Wurzelzone selbst die lokalen Bewegungen und Druckrichtungen dominieren.

Ein sehr günstiges Studienobjekt zur Nachprüfung dieser Gesichtspunkte verspricht im Osthartz der Ramberggranit zu werden. Ebenfalls an die Harzrandzone angeschlossen, liegt er anscheinend vorwiegend in der Wurzelzone selbst, die durch das tief eingeschnittene Bodetal so großartig entblößt wird, wie wohl kein zweiter Granit des deutschen Gebirges.

Der Granit von Kudowa

Anhangsweise möchte ich noch kurz ein sehr kleines, aber eben deswegen sehr klares Beispiel aus Schlesien erwähnen¹⁾. Den Südwestrand der innersudetischen Mulde (s. Gebirgsbau Schlesiens, S. 42 und 53/54) bildet die wichtige und tiefgreifende Störung von Parschnitz-Hronow. Diese gabelt sich im SW der Heuscheuer bei Kudowa, und in dem Winkel entspringt das kleine, nach diesem Orte benannte, höchst eigentümlich gestaltete Granitmassiv (s. die Karte in Lit. 13). Der Granit wurzelt auf der südlichen von den

¹⁾ Ich stütze mich dabei auf Beobachtungen und Messungen von Herrn cand. med. Fritz Peiser, benütze sie aber — mit seiner dankenswerten Erlaubnis — nur soweit, als ich sie selbst nachgeprüft habe.

beiden Störungen mit einem nur wenige hundert Meter dicken, viele Kilometer langen steilen Lagergang. Von diesem aus quillt er nach NO über und legt sich flach auf die kristallinen Schiefer des nördlichsten Adlergebirges auf. Diese Überlagerung ist allerdings nirgends unmittelbar aufgeschlossen, geht aber mit der größten Wahrscheinlichkeit aus dem Parallelgefüge des Granits hervor. Dieses nämlich, das sich an den Rändern dem Nebengestein sklavisch anschmiegt, legt sich in dem Hauptteil des Massivs ganz flach, beinahe wagerecht und biegt erst mit Annäherung an die Wurzel steil in die Tiefe. Das kleine Massiv hat also, wenn diese Folgerung berechtigt ist, etwa die Gestalt eines halben, mitten durch Hut und Stiel geschnittenen Pilzes. Es gleicht somit den vorher beschriebenen viel größeren Massiven, unterscheidet sich aber von ihnen durch das merklich stärkere, größtenteils flächenhafte Parallelgefüge, das wahrscheinlich in dem höheren Alter und der dadurch stärkeren Beteiligung der Faltung seinen Grund hat. Den besonderen Reiz dieses kleines Stockes macht seine Lage in einer vor- und nachher ungewöhnlich gestörten Umgebung aus. Dadurch wird es möglich, dieselben Bewegungen, die den Granit getroffen und gestaltet haben, auch außerhalb desselben wiederzufinden und zu analysieren. Die weitere, allerdings nicht ganz einfache Untersuchung verspricht noch manche lehrreichen Ergebnisse.

Weitere Beispiele

Ein Gedankengang von der Art des vorliegenden kann naturgemäß nicht durch theoretische Überlegungen, sondern nur durch möglichst viele Beobachtungen aus recht verschiedenen und verschiedenartigen Gebieten gefördert werden. Wir müssen daher zunächst in der Durchmusterung gut untersuchter und gut aufgeschlossener Granitmassive fortfahren. Die bisher besprochenen schlossen sich dem einfachen Typus einer flachen, aus steiler Wurzel entspringenden Zunge sehr vollständig und gleichmäßig an. In allen lag die Wurzel seitlich, das Massiv war also unsymmetrisch und an Ausdehnung trat die Wurzel ganz zurück gegen den flach liegenden Teil der Zunge selbst. Letzterer, beinahe schon vom Untergrund gelöst, erschien als der Hauptteil des Massivs. Die Raumbildung desselben war von einer flachen, diskordanten Fuge ausgegangen und hatte sie nach oben (und unten) erweitert, der neue

Raum war also sozusagen der Erdoberfläche, der Atmosphäre abgewonnen worden. Es handelt sich bei allen drei Beispielen, kurz gesagt, um unterirdische Vulkane, um „innere Lavaströme“, wie sich L. Milch in der Diskussion zu einem Vortrage des Verfassers ausdrückte. Es liegt auf der Hand, daß der Granit gerade unter starkem seitlichen Druck in der Kruste gern diese Form annehmen wird, denn er tritt dabei aus steilen, dem Seitendrucke ausgesetzten Räumen aus und nimmt flache, seichte Räume ein, die vom Seitendruck entweder nicht getroffen, oder sogar durch ihn geradezu geöffnet werden können. Das Verhältnis der Wurzel und des Daches zum Seitendruck ist dabei ein ähnliches wie im alpinen Deckenbau: Der Granit nimmt eine neue Lage ein, die in idealer Weise den „Zweck“ der Gebirgsbildung erfüllt, die Breite der Erdkruste zu verringern und dafür ihre Dicke zu vergrößern (s. oben S. 25 und 30).

Die folgenden Beispiele sind etwas unregelmäßiger und kommen dadurch dem allgemeinen Falle näher.

Das Riesengebirge

Vor kurzem habe ich gezeigt, daß im deutschen Teil des Riesengebirgsmassivs zwei verschiedenartige Teile aneinander stoßen, das Gebiet des Kammes und das Gebiet des Hirschberger Kessels. Ersteres ist ein beinahe konkordantes, steiles, im Streichen des Gebirges gedehntes Gewölbe und hat als solches seinen Platz unter Verdrängung der vorher vorhandenen Gebirgszüge gefunden. In dem Hirschberger Kessel dagegen, der sich

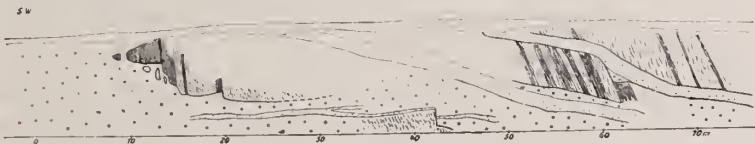


Fig. 18. Nordwestkontakt des Hirschberger Granits in Schlesien.

nordwärts anschließt, durchschneidet der Granit die Schichten seines Daches und zwar, wie sich zeigen ließ, längs einer sehr flach nach Norden oder NNW einfallenden Fläche. Es erhob sich also auch hier die Frage, ob die abgeschnittene Tiefenfortsetzung im Granit liege oder unter ihm. Wäre sie in den Granit aufgenommen und von ihm assimiliert worden, so ergäbe sich der

ganz unbegreifliche Tatbestand, daß die beiden fast gleich großen Massivteile mit einem und demselben Gestein, dem bekannten, so bezeichnenden Riesengebirgsgranit gefüllt wären, obwohl dieser in der einen Hälfte einen sozusagen leeren Raum eingenommen, in der andern fast die gleiche Menge Fremdstoff in sich aufgenommen hätte¹⁾!

Ich hatte mir daher schon vor den Beobachtungen im Bayrischen Walde die Vorstellung gebildet, daß der Granit des Hirschberger Kessels ein flachliegender, ziemlich dünner Keil sei, der vom Kammgebiet her nach N vorgestoßen wurde. Diese Annahme wird nun durch die neuen Analogien stark gestützt. Es läßt sich aber auch noch manches andere dafür anführen. Einmal wieder die Verteilung der Nachschübe (Vorläufer sind bis jetzt nicht bekannt). Die zahlreichen Mitglieder der Ganggefölgenschaft nämlich, durch L. Milchs Untersuchungen allgemein bekannt, streichen zwar hier senkrecht zur Wurzelzone, und dadurch wird ihr Zusammenhang mit der letzteren minder deutlich. Aber dennoch kann man leicht sehen, daß der Schwerpunkt ihrer Verteilung im Gebirge liegt, über das sie nach N und S hinausgehen, während sie die N-Grenze des Kessels gar nicht erreichen. Ferner lassen sich hier, ähnlich wie im Bayrischen Wald, kleinere Modelle in Vergleich ziehen. Schon vor Jahren habe ich einige Gänge abgebildet, die bei Hirschberg ganz flach durch steil stehende Gneise des Daches vorgreifen. Ihnen sind auch die zahlreichen „Riegel“ an die Seite zu stellen, welche die Schmiedeberger Lagerstätte durchschneiden. Ein weiterer Gesichtspunkt liegt darin, daß nur auf dem Wege über und unter dem Granit hindurch sich die, durch ihn auseinander gerissenen, Teile des Rahmens wieder zusammenflicken lassen. G. Berg, als der beste Kenner des Riesengebirges, hielt es im Anschluß an meine Ausführungen sogar für möglich, daß eine von ihm kartierte riesige Schieferscholle nahe der Südostecke des Massivs (bei Krummhübel) bereits zur Unterlage gehöre. Gneis- und Schieferschollen, die Berg in Gangnachsüben inmitten des Hirschberger Kessels fand (Erl. zu Bl. Warmbrunn S. 32 und 34) können geradezu als Beweis für die ältere Unterlage des dortigen Granits angesprochen werden.

¹⁾ Es liegt hier überhaupt ein, wie mir scheint, schwer überwindbares Hindernis für die Aufstümmungs- und Assimilationstheorie der Batholithen. Besteht doch ganz allgemein kein Unterschied zwischen der Gesteinsfüllung der Lakkolithen und der Batholithen, obwohl doch die letzteren gewaltige Mengen Fremdstoffe in sich aufgenommen haben sollen, die ersteren aber gar keine!

Ein Querprofil durch das Riesengebirgsmassiv, unter diesen Voraussetzungen gezeichnet, würde also die Wurzel ins Gebiet des eigentlichen Gebirges verlegen und im Gegensatz zu den früheren Beispielen als Hauptmasse erscheinen lassen, während die Platte oder Zunge nur einen kleineren Anhang bilden würde. Mechanisch leicht verständlich, denn von der Hebung des Gewölbedaches im Hauptmassiv wurde auch die nördliche Nachbarschaft ergriffen und sozusagen mitgenommen; dabei könnte sie an einer flachen diskordanten Fuge von ihrer Unterlage losgerissen worden sein. Die leichten späteren Störungen zwischen Kessel und Gebirge (Gebirgsbau Schlesiens 1922, S. 27) würden begreiflicherweise an der empfindlichen Ansatzstelle des Anhangs am Hauptstock entspringen. Sie würden also dieselbe Stelle des Massivs bevorzugen, wie nach einer oben gemachten Annahme die Lausitzer Überschiebung. Auch im Brockenmassiv gibt Erdmannsdörffer gerade am Wurzelansatz wichtige spätere Störungen an.

Das Massiv von Striegau-Zobten

Im Sudetenvorland liegen die beiden großen Granitmassive von Striegau-Zobten und von Strehlen-Friedeberg (Lit. 13, S. 57 u. 89). Ihre innere Tektonik konnte sehr vollständig untersucht werden, dank der tiefen Lage, welche die Entwicklung großer Steinbrüche sehr begünstigte. Dagegen sind aus demselben Grunde die Kontakte größtenteils mit Tertiär und Diluvium verdeckt, und über die Begrenzung der Massive ist infolgedessen noch wenig Unmittelbares bekannt.

Das Massiv von Striegau-Zobten beginnt bei Zobten auf der für so viele Granitmassive bedeutungsvollen Gneis-Sedimentgrenze; es trennt die Gneismasse der Eule von dem Paläozoikum des nordsudetischen Schiefergebirges (Lit. 13, S. 58). Es scheint nun, daß es auch nach der Tiefe zu auf derselben Grenzfläche liegt. Die alten Schiefer auf der Nordseite des Massivs nämlich liegen ihrerseits auf Gneis, der 13 km nördlich, bei Groß-Wandriß, unter ihnen heraustritt. Die Gneisschiefergrenze fällt von da aus nur ganz flach gegen das Massiv ein und hebt sich erst in nächster Nähe des Granites plötzlich gegen diesen heraus, offenbar durch den Granit selbst gehoben. Der Granit kommt also (bei Striegau) an einer Stelle heraus, wo man eigentlich Gneis erwarten sollte. Diese Tatsache läßt sich nach unseren

heutigen Vorstellungen nicht anders erklären, als daß der Granit an die Stelle des Gneises getreten ist, d. h. sich zwischen ihn und die Schiefer eingeschoben, nur die Schiefer emporgewölbt, den Gneis aber liegen gelassen hat.

Der starrere Gneis würde also unverändert unter dem Granit nach Süden weitergehen. Ich habe diese Vorstellung in einem vorläufigen, schematischen Profil (Fig. 19) zur Anschauung gebracht.

Seine grundsätzliche Richtigkeit läßt sich indirekt beweisen, indem man alle anderen Möglichkeiten ausschließt: Wäre z. B. der liegende Gneis bei Striegau mit aufgewölbt durch den Granit, so müßte er zwischen diesem und dem Schiefer zutage austreichen. Wären anderseits beide, Schiefer und Gneis, vom Granit nicht aufgewölbt, sondern nur geschleppt, so könnte der Schiefer bei Striegau nicht ungefähr konkordant auf dem Granit aufliegen. Es bliebe dann nur noch die Möglichkeit übrig, daß der Gneis durchbrochen und aufgezehrt, der Schiefer aber bloß emporgedrängt worden wäre. Diese Vorstellung bringt alle Schwierigkeiten des Batholithenbegriffes (S. 3ff.) mit sich, vermehrt durch eine unmögliche Beschränkung auf eine begrenzte Schicht, den Gneis. So bleibt als einzige, nach heutigen Begriffen denkbare Vorstellung die oben skizzierte übrig. Mit ihr würde auch die Lagerung des Gabbros und des Serpentin der Zobtengruppe im besten Einklang stehen. Beide nämlich bilden ebenfalls flache auskeilende Gesteinsschilde (Lit. 10, S. 45), die im Süden oder Südwesten wurzeln und von da nach N vordringen. Die

Wurzel des ganzen Massivs würde, übereinstimmend mit meinen früheren Vorstellungen, im SO liegen. Von hier, von der Gneis-Sedimentgrenze her würde nacheinander Serpentin, Gabbro und Granit nach

Fig. 19. Schematisches Profil durch den Nordostkontakt des Striegauer Granitmassivs.



oben gedrungen und sich flach ausgebreitet haben. Die Wurzel selbst scheint den Gneis zu durchbrechen. In welcher Weise und an welcher Stelle, das wissen wir allerdings noch nicht. (Eine gewisse Schwierigkeit für die Analyse der Wurzel bietet auch noch die keineswegs unwahrscheinliche Annahme, daß der Serpentin und Gabbro älter wären als die Vergneisung, während der Granit jünger ist. Bevor man dieser Frage näher treten kann, müßte jedoch das sehr schwierige Alter der Eulengneise selbst geklärt sein).

Treffen die obigen Ausführungen das Richtige, so ist also das Striegau-Zobtener Massiv in der Hauptsache ein ungefähr konkordanter Lakkolith, der sich, schräg von Südwesten herauf dringend, längs der Gneis-Sedimentgrenze flach ausgebreitet hat. Sein tieferer Ursprung läge alsdann unter der sudetischen Scholle. Das Fehlen einer Ganggefolgschaft an seiner heutigen Stelle, im Sudetenvorland, brauchte uns dann vielleicht nicht mehr zu befremden (Lit. 13, S. 13).

Das Massiv von Strehlen-Friedeberg

ist nach dieser Richtung noch nicht aufgeklärt. Vieles spricht dafür, daß sein Ursprung im Süden, bei Friedeberg liegt, also ebenfalls am Sudetenrand und ebenfalls unter der breitesten Stelle des Massivs. Das reichliche Auftreten basischer Vorläufer, der von Scharff beschriebenen Diorite bei Friedeberg (Lit. 51), deutet darauf hin. Auch die Anhäufung von Quarzgängen im gleichen Gebiet läßt sich dazu heranziehen. Von hier aus, nach Norden könnte möglicherweise das Massiv, wie es schmaler und ärmer wird, auch seichter und dünner werden. Die Nordspitze selbst, bei Strehlen, Gorkau, Steinkirche, ist, worauf ich schon früher hingewiesen habe, schon kein eigentliches Massiv mehr, sondern nur noch eine Häufung mächtiger, unregelmäßiger Gänge.

Insoweit beginnt das Bild bereits sich zu enthüllen. Dagegen wissen wir noch nicht, ob flache Unterlagen vorhanden sind und ob überhaupt die größte Ausdehnung des Massivs in der Horizontalen oder in der Vertikalen liegt, mit anderen Worten, ob wir es mit einem stark erweiterten steilen N-S-Gang, oder mit einem Lager zu tun haben. Die meisten heute vorliegenden Beobachtungen sprechen eigentlich für die erstere Vorstellung.

Nachtrag: Während der Drucklegung gelangen einige Beobachtungen, nach denen sozusagen beide Möglichkeiten zugleich

verwirklicht scheinen. Im Norden bei Strehlen, wo, wie ich schon lange annehmen mußte, ein tieferes Niveau freiliegt, bildet der Granit mächtige, steilstehende, nach oben erweiterte Gänge im spröden Gneis; im Süden bei Friedeberg dagegen breitet er sich über ebensolchen, in der Tiefe vorhandenen Gängen seitwärts aus, indem er von dem Gneissockel die flachliegende Sedimentdecke (Gneise, Schiefer und Marmor bei Friedeberg, Gr. Kunzendorf usw.) abhebt und längs der Grenze beider Gesteine vordringt. Schematisch wird diese Vorstellung durch Fig. 20 wiedergegeben, in

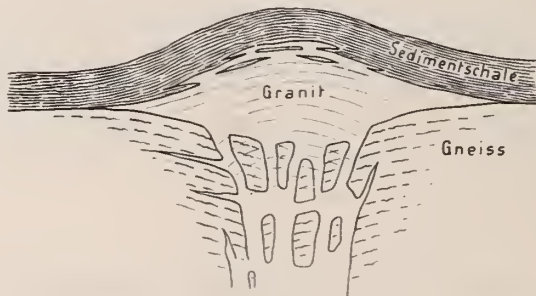


Fig. 20.

welcher beide Denudationsstufen zu einem Profil übereinander gestellt sind. Flache Kontakte kommen jedoch auch schon im Gneissockel vor. So hat sich herausgestellt, daß der kleine Granitstock von Steinkirche ein flach ostwärts fallender, diskordanter Lagergang in steilstehendem Gneis ist, sehr ähnlich den bayrischen Beispielen. Diese Erklärung ist bereits in meiner ersten, den Unterschied der beiden Nebengesteine scharf betonenden Darstellung (1920 Lit. 10, S. 12 und 14) enthalten.

Das Erongogebirge (Fig. 21)

Lehren schon diese drei schlesischen Beispiele, wieviel örtliche Einzelheiten man berücksichtigen muß, um jedem Massiv für sich gerecht zu werden, so wird dies an dem folgenden Beispiel noch deutlicher. Im Erongogebirge im Hererolande stößt ein im Verhältnis sehr junger Granit in die obersten Schichten der Erdkruste vor (Lit. 7—9). Er findet hier ähnliche Verhältnisse wie der wohl ungefähr gleichaltrige Buschfeldlakkolith in Transvaal: Über ein steil gefaltetes Grundgebirge breiten sich flache,

fast ungestörte Tafeln jüngerer Gesteine. Aber am Erongo ist die Tafel dünner und zugleich spröder und sie entbehrt der nachgiebigen Zwischenlagen und gangbaren Fugen, welche am Buschfeld den Granit zu weiter, flacher Ausbreitung gewissermaßen eingeladen haben. Aus diesem Gegensatz habe ich schon in meiner Monographie des Erongogebirges zu erklären versucht, warum der Erongogranit nicht lakkolithisch im engeren Sinne, sondern diskordant und stockförmig auftritt. Und zwar kommt er an mehreren, verstreuten Stellen verschieden hoch, anscheinend launisch, ohne erkennbaren Grund, so daß man leicht an die zufälligen Gipfel eines großen, ungleich rasch aufgestiegenen Batholithen denken könnte. Trotzdem habe ich mich dazu schon damals nicht entschließen können. Zwei Gründe wurden schon oben genannt (S. 7): Einmal liegt der Granit an der heutigen Oberfläche auf einer scharfen und langen, aber ganz schmalen Störungszone; und zweitens sind seine einzelnen Aufbrüche so regelmäßig um einen etwas älteren, derselben Störungszone entwachsenen Vorläufer herumgelagert, daß wir für beide einen gemeinsamen und zwar einen engen Zufuhrweg annehmen müssen, womit der Batholithengedanke wegfällt. Hierzu kommt weiter die Aufwölbung des Daches, die, wie wir sahen, ebenfalls mit dem Batholithenbegriff schwer vereinbar ist, umsomehr als die Wölbung nicht einheitlich über das ganze Granitgebiet hinweggeht, sondern sich in lauter kleine Kuppeln über den einzelnen Aufbrüchen auflöst. Unverständlich wäre es ferner bei einem Batholithen, daß der Granit beinah bis zur damaligen Erdoberfläche durchbrechen konnte und daß dann doch sozusagen im letzten Augenblicke die dünnen übergelaufenen Ströme seines eigenen Vorläufers genügten, um ihn festzuhalten (siehe o. S. 12). Gerade diese seichte Lage aber, mit der sich eine Aufschmelzung oder Aufstemmung in breiter Front so schlecht verträgt, kommt umgekehrt einer Raumbildung, wie ich sie annehme, nämlich durch Hebung und Ver-

Erläuterungen zur Karte und den Profilen des Erongogebirges im Hererolande (Fig. 21).

Gestrichelt (in den Profilen): gefaltetes Grundgebirge.

Vollschwarz: Gänge und Stöcke von mittelsauren Massengesteinen (Diorit und Granodiorit), in den Profilen auch die Porphyrdecken.

Schwarz umrahmt: Decken von Porphyren und Porphyriten.

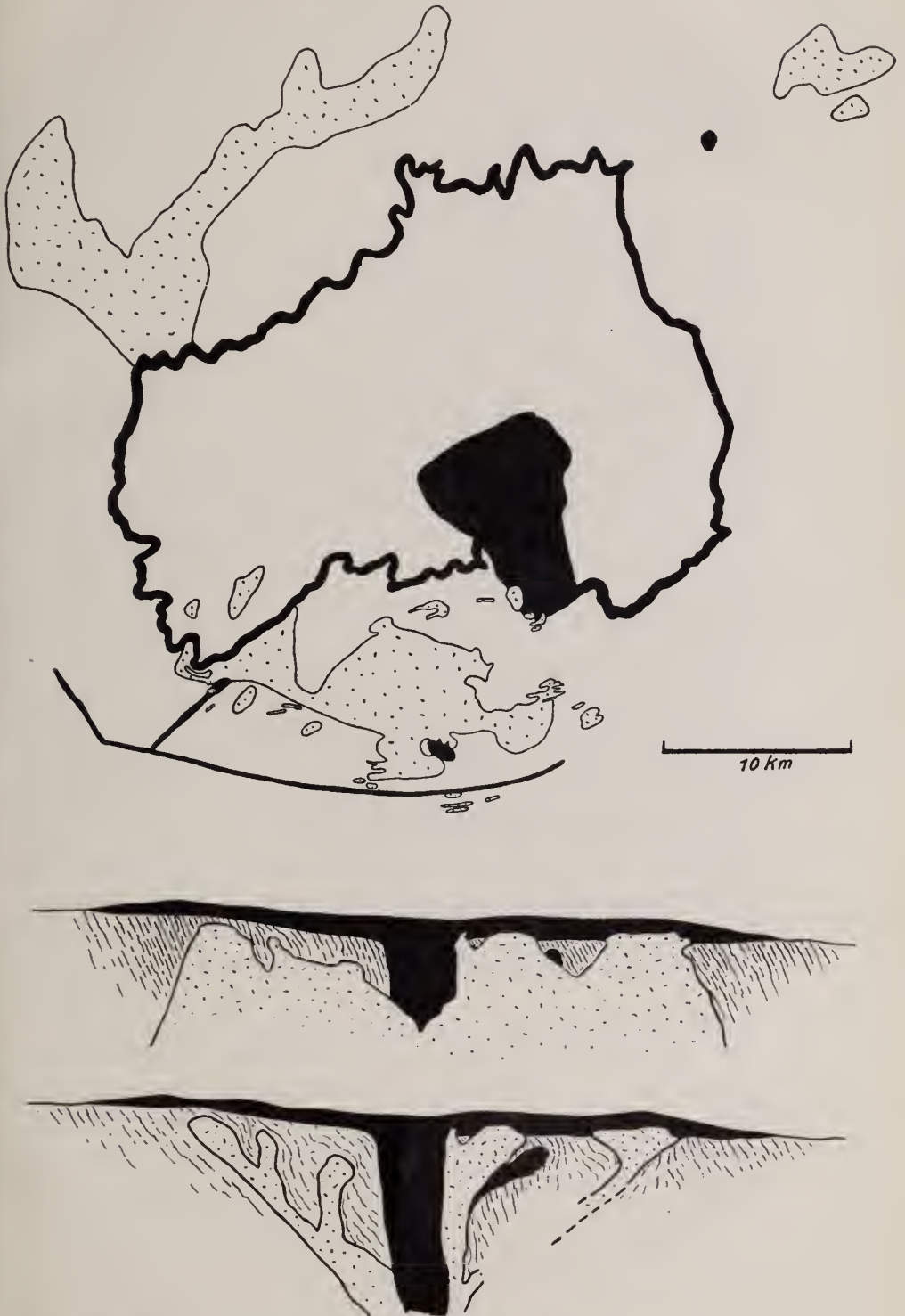
Punktiert: Jüngerer Granit (Erongogranit) im oberen Profil nach der Batholithentheorie ergänzt, unten als verzweigter, diskordanter Lakkolith.

drängung des Daches und Nebengesteins ungemein entgegen. Eine weitgehend entlastete und gelockerte Oberschicht der Kruste mußte es sein, in deren Klüfte und Schichtfugen der Granit eindringen und deren locker gefügte Schollen er auseinandertreiben konnte. Er war dabei schon so zäh, daß er nur mehr wenige, dafür aber sehr mächtige Zweige auszusenden vermochte und kleinere Schollen kaum mehr aufnahm.

Ich habe versucht, aus den vorhandenen, immerhin noch lückenhaften Beobachtungen ein Profil zu entwerfen, das wenigstens schematisch den Charakter der Intrusion am Erongo, wie ich ihn mir denke, wiedergibt (Fig. 21). Es ist der Typus eines hochgradig unregelmäßigen diskordanten Lakkolithen. Fast überall schneidet der Granit sein Nebengestein, aber fast nichts ist zerstört und ersetzt worden, fast überall dürfte die Fortsetzung neben oder schräg unter dem Granit zu suchen sein. Ich stelle ein zweites im Sinne des normalen Batholithen gezeichnetes Profil darüber.

Die Beweise für die lakkolithische Auffassung liegen außer in den oben genannten, mehr theoretischen Gesichtspunkten vor allem noch in einer Reihe unmittelbarer und mittelbarer Beobachtungen. Unmittelbar beobachtet wurden Unterflächen des Granits an einer ganzen Reihe von Stellen. Die ganze rechte Hälfte des Profils ist auf Grund solcher, größtenteils früher beschriebener Aufschlüsse gezeichnet. Als mittelbare Beobachtung betrachte ich den in der linken Profilhälfte angewandten Grundsatz der Korrelation der Niveaus (siehe u. S. 52). Die hier dargestellten (nordwestlichen) Massivteile folgen an der heutigen Oberfläche den Strukturflächen des Nebengesteins. Hieraus ist zu schließen, daß sie dies nach der Tiefe ebenfalls tun. Auf Grund dieser Annahme wurde gezeichnet. Im übrigen kommt der Zusammenhang des Granits mit seinem scharf zentralisierten Vorläufer in einer Weise zum Ausdruck, die jede Erläuterung überflüssig macht.

Man könnte fragen, ob ein solcher ästiger Granitbaum auch im Untergrund weitere ähnliche Äste treibe. Ich glaube dies nicht, sondern halte die Nähe der Erdoberfläche für eine Bedingung zum Zustandekommen derartiger Gebilde.



Figur 19. Karte und Profile des Erongogebirges im Hererolande

Methodisches

Ich möchte die Reihe der Einzelbeispiele damit abschließen und, bevor ich zu den Folgerungen übergehe, rückblickend die Frage stellen: Über welche Hilfsmittel verfügen wir nunmehr, um die Tiefenfortsetzung von Granitmassiven zu untersuchen?

Zunächst natürlich über die direkte Beobachtung. Viel häufiger, als man gewöhnlich annimmt, sind in der Natur Unterlagen des Granits direkt aufgeschlossen. Einige bekanntere Beispiele habe ich vor Jahren zur Stützung meiner Auffassung des Erongogebirges (Lit. 9, S. 205) bereits zusammengestellt. Sie liessen sich leicht vermehren. Meist aber ist es sehr schwierig, die Unterlage als solche zu erkennen und nachzuweisen. Die Gründe dafür haben sich aus den Einzelbeispielen ergeben. Sie liegen einmal in der Neigung des Granits, sein Vorland mit steinigem Schutt zu überstreuen, und, soweit es sich um Steinbruchaufschlüsse handelt, in der praktischen Wertlosigkeit der meisten unterlagernden Gesteine. Auch Bahn- und Wegeinschnitte pflegen weiche, leicht zerfallende Gesteine unter einer schweren mit Abbruch drohenden Decke nie lange Zeit frei zu legen. Eines der wichtigsten, in der Natur der Sache selbst liegenden Hindernisse bildet die tiefe absolute Lage der Unterfläche in den allermeisten Massiven. Aus allgemeinen, in der konsequenten Entwicklung unserer Gebirge liegenden Gründen nämlich pflegt sich nach der Massivbildung die stabile Wurzel zu heben und die dünne Spitze zu senken. Der günstigere umgekehrte Fall im Bayrischen Wald muß wohl als eine Ausnahme betrachtet werden. Endlich ist ja überhaupt seit dem Karbon die Abtragung selten tief genug gegangen, um die immerhin mächtigen, fest zusammenhaltenden und widerstandsfähigen Granitplatten zu durchsägen. Man tut gut, sich diese natürlichen Beobachtungshindernisse zum Bewußtsein zu bringen.

Zur direkten Beobachtung rechne ich es auch noch, wenn zahlreiche kleinere Massive vom gleichen Typus verschieden tief abgetragen sind und man die Beobachtungen von einem auf das andere übertragen, aus vielen Individuen einen Typus zusammenstellen kann; hierhin gehört der bekannte Begriff der Denudationsreihe. Daß dieses Verfahren mit großer Vorsicht anzuwenden ist, versteht sich von selbst.

Eines der wichtigsten Hilfsmittel bildet, schon weil es neu und bisher noch kaum angewendet ist, die innere Tektonik der Granite selbst. Wir haben zur Genüge gesehen, daß man aus dem feineren, tektonischen Bau der oberen Massivteile die Form der Massivoberfläche selbst und ihren Verband mit dem Dach wiederherstellen kann. Insbesondere läßt sich ermitteln, ob der Kontakt eine Einheit bildete, wie es der neue Intrusionsmechanismus verlangen würde oder nicht. Ferner ließ sich bisher in allen Fällen eine innere Wölbung nachweisen, die der äußeren Wölbung nachgebildet ist und ein Bild und Maß von dem Auftrieb des Granits bei der Massivbildung vermittelt. Damit haben wir einen sehr wichtigen Prüfstein an der Hand. Denn wenn die Höhe und der Inhalt des inneren Gewölbes mit den Maßen des verdrängten oder sonstwie fehlenden Nebengesteins übereinstimmt, so fällt einer der bisher zwingendsten Gründe für die Batholithentheorie weg. Ja mehr als das: eine Wölbung von der Regelmäßigkeit, wie ich sie bei Strehlen und im Bayrischen Walde gefunden habe, würde sich auf dem Gipfel einer bodenlosen, nach unten und nach den Seiten nicht abgegrenzten Masse gar nicht bilden können.

Hiermit hängt die weitere Möglichkeit zusammen, mit Hilfe der Granittektonik Massive zu individualisieren. Gestattet sie uns doch in vielen Fällen auch bei unvollkommener Entblößung ganz genau zu sagen, wo ein Massiv aufhört und wo ein anderes selbständiges anfängt. Besonders die Aufwölbung leistet auch da wieder gute Dienste. Massive aber, die sich so selbständig gegenüber stehen wie die vorsudetischen den sudetischen oder wie die beiden Hauptmassive des Passauer Waldes können unmöglich als entblößte Köpfe eines einheitlichen Batholithen aufgefaßt werden.

Eine andere Frage ist es, welche Beweiskraft man der Stellung der Vor- und Nachläufer der Massive beimessen will. In gewissen Fällen, wie am Brocken, ist die Anhäufung dieser Trabanten auf begrenzter Zone so drastisch, daß man sich diesem Argument nicht entziehen kann. In andern Beispielen bedarf es einer vorsichtigeren Beurteilung, obwohl auch z. B. die Stellung der Syenite zu vielen Granitmassiven eine überaus bezeichnende ist (Lausitz, schlesische Nordsüdzone, Pfahlzone usw.) Die Verwendung der Massivtrabanten zur Wurzeldiagnose hängt ja wesentlich davon ab, ob und in welchem Maße die Reichweite des Trabanten geringer ist als diejenige der Hauptmasse. Dies wiederum hängt teils von der Gesamtmenge des Trabantengesteins ab, teils vor

allem davon, ob es im ganzen oder in kleinen Teilen hochkommt. Im letzteren Falle ist oft die Reichweite sehr herabgesetzt und solche dünnen Gangnachschiebe können dann, wie am Brocken, fast haarscharf als Projektion der Zufuhrspalte gegen die Massivoberfläche bewertet werden. Bei alledem muß man sich natürlich darüber klar sein, daß es Nachschübe gibt, die gar nicht aus dem engeren Herde selbst stammen, oder die wenigstens nicht auf die Benützung desselben Zufuhrweges angewiesen sind. Auch muß man damit rechnen, daß gerade die basischen Nachschübe wegen ihrer bekannten Dünflüssigkeit sich außerordentlich weit von der Wurzel auch seitwärts zu entfernen vermögen.

Daß man letzten Endes auch Erz- und Mineralgänge magmatischen Ursprungs als Wegweiser verwenden darf, wenn auch gerade sie nur mit der größten Vorsicht, bedarf kaum der Hervorhebung.

Es sind das alles Hilfsmittel in der Hand desjenigen, der sie zu gebrauchen versteht und der zugleich den Charakter des ganzen umgebenden Gebirges durch und durch kennt. Aber sie können zu Verführern werden, wenn man den örtlichen Verhältnissen nicht Rechnung trägt und der Versuchung verfällt, eine alte Schablone an neuer Stelle auf fremde Objekte anzuwenden. Man kann, so selbstverständlich es eigentlich ist, gar nicht oft genug daran erinnern, daß jedes Granitmassiv, nun wir es von dem großen Baum des Batholithen gelöst haben, ein Individuum ist und somit als ein Produkt verstanden werden muß, aus eigenen inneren und aus fremden, von außen wirkenden, von Ort zu Ort wechselnden Kräften.

Gerade diese individuelle Auffassung der Massive gibt uns aber ihrerseits ein weiteres wichtiges Hilfsmittel zur Diagnose ihres Untergrundes an die Hand. Es ist dies die Verfolgung der tektonischen oder stratigraphischen Stellung des Massives von der Oberfläche nach der Tiefe. An früherer Stelle (S. 31) haben wir Massive kennen gelernt, die wie das Lausitzer trotz ihrer räumlichen Ausdehnung in einen ganz bestimmten Rahmen eingefügt sind und sich ihm fügen. Wir hatten daraus zunächst nur gewissermaßen qualitativ gefolgert, der Granit müsse auch nach der Tiefe demselben Rahmen treu bleiben und könne sich nicht, ihn rücksichtslos durchschneidend, beliebig in die Breite dehnen. Wir dürfen nun noch einen Schritt weiter gehen und „quantitativ“ verfahren. Denn wie der Rahmen seinerseits sich nach der Tiefe

fortsetzt, das wissen wir in großen Zügen. Also können wir auch, wenn auch zunächst nur roh, voraussagen, wie sich der Granit selbst fortsetzen wird, der diesen Rahmen ausfüllt. Das Lausitzer Massiv, um bei diesem sehr glücklichen Beispiele zu bleiben, liegt auf seiner ganzen Erstreckung in dem Zwickel zwischen dem Elbtalschiefergebirge, der nordsächsischen Grauwackenformation (bzw. ihrer östlichen Fortsetzung) und den Gneisen in der Umrahmung des Riesengebirges. Es würde allen Erfahrungen zuwiderlaufen, wenn diese Einstellung auf die ganz zufällige dünne Schnittfläche mit der heutigen Erdoberfläche beschränkt wäre. Dies um so mehr, als wir ja in der heutigen Oberfläche nicht nur eine einzige Tiefenstufe, sondern eine ganze Reihe solcher, nebeneinander und ineinander übergehend, vor uns haben. Umschließt doch jedes breitere Aufschlußgebiet in sich allein schon ein gutes Stück der „Denudationsreihe“. In diesem Sinne stehen wir auf dem Boden direkter Beobachtung, wenn wir das an der heutigen Oberfläche festgestellte Verhältnis von Granit und Schale nach unten (und nach oben) eine Strecke weit verlängern. Ganz allgemein kann man sich so ausdrücken, daß bei steilstehenden geologischen Flächen die Entwicklung nach der Tiefe derjenigen nach den Seiten in gewissen Punkten und unter gewissen Bedingungen gleich gesetzt und aus ihr abgeleitet werden darf. Ähnlich wie es Joh. Walther für Schichtenfolge und Fazies gezeigt hat, müssen sich auch auf dem Gebiete der Tektonik die übereinander geordneten Zustände auch nebeneinander finden, ja, können unter Umständen nur diese nebeneinander vorkommen; es kann also auch hier die horizontale und vertikale Entwicklung bis zu einem gewissen Grade miteinander vertauscht, eine für die andere eingesetzt werden. Es liegt auf der Hand, daß in einem solchen Prinzip der Korrelation der Niveaus ein wichtiges und vor allem ein mit Einzelheiten sehr freigiebiges Hilfsmittel gegeben ist, um die Tiefenfortsetzung und den Untergrund der Granitmassive zu entschlüsseln.

Zweiter Teil: Allgemeine Betrachtungen

Rückblick

Als erstes gesichertes Ergebnis der vorliegenden Untersuchung betrachte ich den Nachweis granitischer Massive

von batholithischem Aussehen, aber lakkolithischer Entstehung. D. h. mit anderen Worten: es gibt Granitmassive, welche das Gefüge ihrer Umgebung durchschneiden, als ob sie sich in dieselbe eingefressen hätten, die aber in Wirklichkeit ihr Nebengestein nicht vernichtet, sondern nur verdrängt haben. Die Fortsetzung dieser Gesteine findet man dementsprechend auf der andern Seite des Granits wieder.

„Batholitische“ Granitmassive von dieser Art unterscheiden sich von gewöhnlichen Lakkolithen nicht durch die Art und Bildungsweise des Massivs selbst, sondern lediglich durch Lage und Charakter der Fugen, in welche sie eindringen, also durch ein Merkmal des Nebengesteins. Und zwar sind diese Fugen bei Lakkolithen im engeren Sinne Schichtgrenzen, bei unseren Scheinbatholithen Klüfte, welche die Schichtgrenzen schneiden.

Die Ähnlichkeit mit Lakkolithen geht so weit, daß viele Massive mit ihrem Herde nur durch einen engen, meist gangförmigen Kanal oder Stiel verbunden sind und sich von diesem aus seitwärts ausbreiten (Beispiele: Lausitz, Brocken, Strehlen-Friedeberg und andere). In anderen Fällen geht der steilere Stiel allmählich in die flache Decke des Massivs über (Bayrischer Wald?, Granit von Kudowa, Striegauer Granit?) oder aber das Massiv verzweigt sich unregelmäßig, ästig durch die Erdkruste (Erongo). Endlich ist mit der Möglichkeit zu rechnen, daß das ganze Massiv nur „Stiel“ ist, d. h. steil im Nebengestein steht, sei es, daß ein Oberbau zerstört worden ist oder nie vorhanden war (Schwarzwald). In jedem Falle aber ist das vom Granit verdrängte Gestein neben oder unter dem Granit noch vorhanden. Die Massivbildung bedeutet also nicht eine Zustandsänderung vorher vorhandener Gesteine (Aufschmelzung und Wiederverfestigung), auch nicht einen bloßen Stoffaustausch zwischen höheren und tieferen Krustenstockwerken (Aufstimmung und Platztausch), sondern ein Plus an neuem aus der Tiefe zugeführtem Material.

Soweit diese Feststellung gilt — Einschränkungen nehme ich alsbald noch vor (S. 62) —, gibt sie Antwort auf die an den Anfang dieser Arbeit gesetzte Grundfrage des Vulkanismus, ob die Schmelzen des Erdinnern aus eigener Kraft die Kruste zu zerstören und sich auf ihre Kosten emporzuarbeiten vermögen oder nicht. Es ist offenbar nicht der Fall. Und zwar reicht weder die Schmelzwärme des Magmas, noch auch seine mechanische Stoßkraft (Aufstimmung) dazu aus. Mit Magmenausbrüchen in

breiter Front (sogen. Arealeruptionen) ist somit nicht zu rechnen, wodurch auch die daraus gezogenen Folgerungen für die Morphologie des Mondes erschüttert werden¹⁾.

Durch dieses Ergebnis werden nun zwar die Schwierigkeiten behoben, die sich im Gefolge der bisherigen Batholithentheorie einstellten (S. 3 ff.). Dafür aber werden andere Schwierigkeiten eingetauscht, insofern als wir nunmehr andere Mittel und Wege für die Massivbildung heranziehen müssen.

Der normale Batholith in der bisherigen Auffassung steigt in der Kruste durch sein geringeres Gewicht empor, wie ein Strom warmen Wassers in kälterer Umgebung. Dieser überall und jederzeit zur Verfügung stehenden Kraftquelle verdankt er auch die Energie, seinen Weg frei zu machen. Dieser selbe Auftrieb genügt jedoch zur Bildung von durch die Erdkruste verzweigten Massiven nicht. Welche anderen Wege, Räume und Kräfte stehen also einem solchen Granit, der die Kruste nicht zu zerstören vermag, zu ihrer Durchquerung zur Verfügung?

Der Aufstiegsweg des Granits

Die spröde Erdkruste wird, wie jeder Bergmann und Geologe weiß, von unzählbaren Fugen durchsetzt. Granit könnte theoretisch in jede von diesen Fugen eindringen. Wenn wir trotzdem die Erdkruste nicht von einem engen Netz von Granitgängen durchzogen sehen, so liegt dies offensichtlich an der Bevorzugung von

1. Fugen bestimmter Beschaffenheit,
2. Fugen bestimmter Lage und
3. Fugen, an denen gleichzeitig Bewegungen stattgefunden haben.

Zu 1. Man kann im ganzen die Beobachtung machen, daß ein Verhältnis besteht zwischen der Größe des Massivs und der Größe und Wichtigkeit der Fuge. Es gibt zwar Massive, die innerhalb eines und desselben Gesteins, also auf unwichtigen Fugen liegen, wie z. B. die Zungen und Platteu des Bayrischen Waldes, die in flache Querklüfte von Gneis eingedrungen sind. Auch Teile des Riesengebirges, des Strehleiner Granits gehören dazu. Doch sind das seltenere und vor allem kleine Beispiele. Alle mir be-

¹⁾ Vgl. die Ablehnung der Mondbatholithen durch den Geophysiker A. Wegener, Die Entstehung der Mondkrater, Braunschweig 1921.

kannten großen Massive liegen auf Gesteins- und auf Zonengrenzen, und je wichtiger und weitgreifender diese Grenze, desto größer im allgemeinen das Massiv. Diese Beziehung tritt bei der nachfolgenden Betrachtung an Hand von Beispielen sehr deutlich hervor.

Zu 2. Es liegt auf der Hand, daß zum Aufstieg des Granits steile Fugen, zur seitlichen Ausbreitung flachere Fugen benutzt werden. Unter den ersteren herrschen tektonische Flächen (Verwerfungen, Faltenzonen, Zonengrenzen, Überschiebungen usw.) vor, unter den letzteren stratigraphische Flächen, bei welchen große Diskordanzen die Hauptrolle spielen.

Unter den Beispielen für Granite auf steilen tektonischen Flächen steht das Lausitzer Massiv an der Spitze. Diese größte deutsche Granitmasse hat sich auf einer der wichtigsten inneren Grenzen des deutschen Gebirges, der Naht zwischen dem nordöstlich und dem südöstlich streichenden Abschnitt emporgearbeitet. Ähnlich stieg der Brockengranit auf der Harzrandspalte, stiegen die bayrischen Granite auf der Pfahlzone empor. Für die schlesischen Syenite ist die schlesische Nordsüdzone verantwortlich zu machen. Vielleicht kommt das nordschwarzwälder Massiv aus dem alten Ostrand des Rheintalgrabens, da diesem die Nachschübe des Granits parallel gehen und die innere Wölbung des Massivs zu ihm ansteigt. Andere Granite, die außerhalb dieser wichtigen Grenzen in weniger bedeutende Fugen eingedrungen sind, sind „infolgedessen“ kleiner geblieben. So z. B. gewisse kleine Stöcke des Elbtalschiefergebirges, Thüringens und des Schwarzwaldes. Einige Massive treten auch inmitten des Gneisgebirges selbst auf und scheinen dann oft an einfache, wenn auch sehr mächtige, stark zerteilte oder erweiterte Spalten oder Spalten-systeme gebunden (Strehlen, östliches Erzgebirge).

Wir haben uns mit diesen Verhältnissen an Hand der einzelnen Beispiele bereits beschäftigt.

Etwas ausführlicher muß ich auf die Bedingungen der seitlichen Ausbreitung der Granite eingehen. Ihr stehen tektonische Flächen seltener zur Verfügung, wenn auch flache tektonische Klüfte sehr viel häufiger sind als man weiß. So sind denn, im deutschen Gebirge wenigstens, innerhalb des Gneises ansehnliche flache Massive selten, wirklich große Massive fehlen ganz.

Andererseits scheinen auch in die enggefaltete Sedimentschale selbst die Granite ungern emporzusteigen. In ihr liegt in

Deutschland nur das Brockenmassiv, wofern man mit Erdmannsdörffer den Eckergneis für durch den Granit umgewandelte Sedimente hält; in ihr liegen einige ganz kleine Stücke in Thüringen und am Westhang des Adlergebirges. Die Hauptmasse der varistischen Granite dagegen bleibt tiefer. Ja, versteht man unter varistischem Faltengebirge wirklich nur die im Karbon noch gefaltete (oder noch einmal gefaltete) Sedimentschale, nicht die damals schon versteiften Gneise, so gibt es innerhalb des ganzen varistischen Gebirges kein größeres Granitmassiv, das ihm mit Sicherheit eingeschaltet und nicht untergeschaltet wäre. Die Hauptmasse der deutschen Granite liegt vielmehr nicht in, sondern unter dem varistischen Gebirge. Sie liegt zwischen ihm und seiner Gneisunterlage, oder auch, mit kleineren Beispielen, innerhalb der Gneisunterlage selbst. Die sogenannten varistischen Granite bilden unter dem varistischen Gebirge einen neuen Boden, der es an vielen Stellen von seiner ursprünglichen Unterlage trennt.

Die Gneissedimentgrenze

Hauptausbreitungsfläche für die deutschen Granite ist also die Gneissedimentgrenze selbst. Dies hat sich im ersten Teil der vorliegenden Untersuchung ergeben. Ich will die einzelnen Beispiele noch einmal zusammenstellen und durch weitere ergänzen.

1. Das Lausitzer Massiv verbreitet sich, von der Elbtal-linie aus, zwischen der nordsächsischen Grauwackenformation und einem Gneis, der im nördlichen Isergebirge und bei Rumburg (?) zutage tritt (siehe oben S. 30). Die Ausbreitungsfläche beträgt fast 4000 qkm.

2. Das mittelschlesische Granitmassiv (Striegau-Zobten) liegt unter den paläozoischen Schiefen des nordsudetischen Schiefergebirges und über einem, dem vorigen ähnlichen Granitgneis (dem Gneis von Groß-Wandriß). Die Ausbreitungsfläche beträgt hier etwa 1000 qkm.

3. Das ostschlesische Granitmassiv (Strehlen-Friedenberg) durchbricht Gneis und legt sich alsdann zwischen den Gneis und seine Schieferdecke (S. 46).

4. Der Hauptstock des Riesengebirges grenzt nördlich an die Gneise des Isergebirges, südlich an das nordböhmisches

Glimmerschiefergebirge und hat sich auf eine Länge von fast 70 km längs dieser Grenze von spröden und von relativ nachgiebigen Gesteinen Platz geschaffen. Die Regel wird nur scheinbar gestört dadurch, daß von der Südwand ein Stück Schiefer an der Nordwand hängen geblieben ist (bei Schreiberhau).

5. In Böhmen, über das ich z. T. nach fremden Beobachtungen berichten muß, liegt eine kleinere Granitmasse zwischen Gneis der Böhmisches Masse und Schiefen im Südosten des Eisengebirges. In großartiger Weise aber kommt der weitverzweigte „mittelböhmisches Granitstock“ im Nordwesten der böhmischen Gneismasse in der Weise zutage, daß er teils im Gneis selbst auftritt, teils und in der Hauptsache aber diesen von den nicht vergneisten alt- und vopaläozoischen Schiefen abtrennt.

6. Die klassischen Granitbatholithen im westlichen Erzgebirge kommen unter Schiefen hervor. Unter den Schiefen tritt außerhalb der Granitgebiete Gneis in flacher Lagerung zutage. Das Verhältnis von Gneis, Schiefen und Granit ist also an der Oberfläche dasselbe wie bei Groß-Wandriß und Striegau (S. 44). Man müßte somit, falls man die Batholithentheorie ablehnt, folgerichtig auch für diese großen Granitmassen annehmen, daß sie den Gneis nur durchbrochen, nicht vernichtet haben und, da sie ihn nirgends an die Oberfläche bringen, sich bis zu einem gewissen Grade über ihm, d. h. also zwischen dem Gneis und den Schiefen ausgebreitet haben.

7. Im Thüringer Wald sind die Massive nicht vollständig abgedeckt. Die sichtbaren Ausschnitte aber sind der Deutung günstig, daß auch hier der Granit von Gneisen auf der einen und von alten Sedimenten auf der anderen Seite begleitet wird.

8. Gewisse Granitmassive des Schwarzwaldes haben die gleiche Position. Hierauf macht v. Bubnoff aufmerksam. Besonders deutlich ist die Stellung der nordschwarzwälder Granite zwischen den Gneisen des Kinzigtals und dem Paläozoikum von Baden-Baden¹⁾.

¹⁾ Von außereuropäischen Beispielen möchte ich hier nur das Massiv von Sudbury herausgreifen, das nach der allgemeinen Auffassung zwischen steile laurentische Gneise und eine flache Sedimentmulde als mächtiger Lagergang eingeschaltet ist. Der Drammenlakkolith in Norwegen liegt stellenweise etwas höher und ist infolgedessen im wesentlichen konkordant. Dicht über dem Grundgebirge scheint sich auch der von Ramsay entdeckte Syenitlakkolith auf der Halbinsel Kola auszubreiten (siehe oben S. 29).

Oberhalb der Gneissedimentgrenze liegen in Deutschland nur die oben genannten kleinen Apophysen und der Brocken- und Ramberggranit im Harz. Doch liegen beide, auch wenn man im Anschluß an Erdmannsdörffer den Eckergneis für ein granitisches Kontaktprodukt hält, sehr tief. In diesem Zusammenhange spricht die Tatsache eine sehr deutliche Sprache, daß in dem riesigen Gebiet des rheinischen Schiefergebirges Granit nirgends direkt die Oberfläche erreicht, dagegen sehr wohl eine Reihe indirekter Merkmale sein Vorhandensein in der Tiefe erschließen lassen (man beachte besonders R. Brauns' sehr überzeugende Folgerungen aus den Auswürflingen des Laacher Seegebietes. Stuttgart, Schweizerbart 1911).

Unterhalb der Gneissedimentgrenze, also im Gneis selbst, liegen vor allem als ausgefüllte Zufuhrwege sämtliche „Stiele“ höherer Massive. Daneben eine Reihe gangartiger Stöcke, meist an tektonische Grenzen gebunden, über deren Zugehörigkeit zu abgetragenen Massiven man im Zweifel sein kann. Einige Beispiele wurden oben genannt. Selbständige, wenn auch kleine Stöcke innerhalb des Gneises sind eigentlich nur diejenigen des

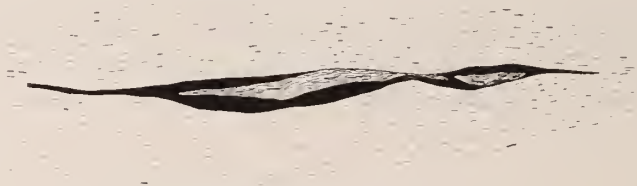


Fig. 22. Granit (schwarz) schält eine Gneisscholle aus ihrer Einbettung von (gestrecktem) Diorit. Röhrnbach im Passauer Wald (E. Cloos. 1922).

Bayrischen Waldes und einige im Schwarzwald, deren geringe Entwicklung also mit den schlechten Ausbreitungsmöglichkeiten innerhalb der Gneise zusammenhängen dürfte. Ein Teil der anderwärts bekannten großen Granitmassive innerhalb von Gneis (Böhmische Masse, Fennoskandia und andere) scheint zu den konkordanten Gebilden einer größeren Tiefenstufe zu gehören; von ihnen ist an späterer Stelle die Rede.

Die Bevorzugung gerade der Gneissedimentgrenze durch den Granit ist mechanisch leicht verständlich. Nicht nur ist sie eine weitreichende und daher fast überall zur Verfügung

stehende Fläche, sondern vor allem auch eine Fläche, welche zwei Gesteinskomplexe von gänzlich verschiedenem mechanischen und tektonischen Verhalten gegeneinander abgrenzt. Was dieser Gegensatz für zudringende Schmelzmassen bedeutet, lehren kleine Beispiele aus dem Bayrischen Wald, die ich nach den Beobachtungen von E. Cloos wiedergebe (Fig. 22 und 23). Wenn irgend zwei Gesteine auf denselben tektonischen Druck ungleich antworten, so ist es doch ein von Millionen Schichtfugen geschwächtes, größtenteils aus plastischen Tonschiefern und ihren Umwandlungs-



Fig. 23. Granitgneis mit Einschlüssen von Schiefergneis bildet eine Scholle in Diorit (punktiert). Jüngerer Granit (schwarz) dringt auf der Grenze der beiden älteren Gesteine vor (vgl. Fig. 22). Nach E. Cloos. 1922.

gesteinen aufgebautes Sedimentgebirge auf der einen Seite und der massive, spröde, kaum mehr faltbare Gneis auf der andern. Eine auch nur einigermaßen gemeinsame Tektonik ist unmöglich. So erfüllt ein Granit, der in diese Fuge eindringt, geradezu die Aufgabe, tektonische Mängel, die an dieser Stelle nicht ausbleiben können, auszugleichen. Er liefert nicht nur das plastische Schmiermittel, das die Bewegung erleichtert, sondern sogar das überall verfügbare Füll- und Stopfmittel, ohne das die Bewegung in dieser Form gar nicht möglich wäre.

Die Gneissedimentgrenze erhält dadurch eine unerwartete Bedeutung. Sie ist gewissermaßen die Obergrenze, zu-

gleich aber auch der Hauptentfaltungsbereich des Tiefenvulkanismus und spielt für ihn eine ähnliche Rolle wie die Erdoberfläche für die Entfaltung der Vulkane.

Rückwärts fällt von da auch ein Licht auf die tektonische Stellung dieser Grenzfläche. Ihre Beziehung zur Massivbildung räumt ihr eine Vorzugsstellung im Bau der äußersten Erdschale und im Zusammenhang der Gebirgsbildung ein. Eine Fuge von solchen Eigenschaften kann auch im Gang der Faltung nicht ohne Wirkung bleiben.

Wir kommen darauf ausführlicher zurück, wenn wir im folgenden zu Punkt 3 (S. 54), der Bevorzugung von Fugen mit gleichzeitigen Bewegungen, Stellung nehmen.

Der mechanische Antrieb des Granits und seine Beziehungen zu gleichzeitigen Krustenbewegungen

Über dieses Thema habe ich auf Grund granittektonischer Untersuchungen noch vor kurzem so eingehend berichtet, daß ich mich hier auf die Einordnung der neuen Beobachtungen und Gesichtspunkte beschränken darf.

Wir können uns daher zumal bei der Betrachtung der steilen Massive und Massivteile, also im wesentlichen der ausgefüllten Zufuhrwege kurz fassen. Ihre passive Einordnung in Zonen der Störung und Bewegung, in große Transversalverschiebungen usw. legt schon für sich allein den Gedanken nahe, daß diese Fugen während des Granitzutrittes nicht tot, sondern lebendig, d. h. die Orte gleichzeitiger anderer Bewegungen waren und daß der Granit durch diese Bewegungen seinen Platz erhielt und z. T. noch an ihnen teilnahm. Die innere Tektonik des Granits bestätigt diese Erwartung. Sie läßt zwar auch den vertikalen Auftrieb des Granits deutlich hervortreten; eine gewölbte Streckung und Bankung, Kluffächer, orientierte Streckflächen usw. lassen wohl keine andere Deutung zu. Aber daneben kommt die Abhängigkeit von der Tektonik der Umgebung nach Richtung, Stärke und Art zu schärfstem Ausdruck. Meinen früheren Beispielen, wie dem Lausitzer, dem Brockenmassiv, den drei schlesischen Granitmassen, denjenigen des Rheintalrandes usw. schließen sich nun auch die Passauer Granite an. Aus der Pfahlzone aufgepreßt und parallel dieser Zone gedehnt,

haben sie grundsätzlich dieselbe Behandlung erfahren, wie die vorher gefalteten kristallinen Schiefer desselben Gebietes.

Verwickelter liegen die Verhältnisse in der Ausbreitungszone der Massive. Der nächstliegende Gedanke wäre natürlich der, daß die Schmelze, wie bei echten Lakkolithen, unter hydrostatischem Druck steht und vor ihm nach der Richtung geringsten Widerstandes ausweicht. Die Annahme ist zweifellos richtig, aber sie umfaßt nicht den ganzen Vorgang.

Steht ihr doch, ganz abgesehen von der noch recht unsicheren Entstehungsweise der Lakkolithen selbst, die innere Tektonik der flachen Massivteile im Wege. Denn diese läßt zu der Zufuhrichtung des Granits, wie man doch annehmen müßte, keinerlei Beziehung erkennen, sondern richtet sich offenbar nur nach der allgemeinen Tektonik. Dies beweisen der Harz, der Hauptteil der Lausitz, die subsudetischen Massive und viele andere, während in einzelnen Fällen (Bayrischer Wald, Riesengebirge) beide wohl nur zufällig zusammenfallen. Daneben gibt es auch hier eine Wölbung, die zwar auf vertikale Komponenten (ungleichmäßige Materialzufuhr oder Belastung) hinweist, aber der regionalen Streichrichtung untergeordnet ist (Bayrischer Wald).

Man muß also annehmen, daß die regionalen Bewegungen, die auf die Wurzelzone wirkten, auch die flachen Massivteile maßgebend beeinflussen konnten.

Um dies zu verstehen, müssen wir uns einen Augenblick die dynamischen Verhältnisse zur Bildungszeit der jungpaläozoischen Granite in Deutschland anschaulich machen. Die obere Erdkruste bestand, wie wir nun gesehen haben, aus zwei Schalen, einer spröden, tieferen Gneisschale und einer, wenn auch schon gefalteten, so doch noch plastischen, höheren Sedimentschale. Die Grenzfläche zwischen beiden stieg stellenweise rasch auf und ab, während sie anderen Ortes weithin flach lag. Von vertikalen Verschiebungen konnten also beide Schalen ziemlich gleichmäßig ergriffen werden. Seitliche Bewegungen dagegen, seitlicher tangentialer Gebirgsdruck fand oben und unten ganz verschiedene Bedingungen. Während er die Sedimentschale zusammenschieben konnte wie ein Tischtuch auf dem Tisch und sie bereits zur Ankunftszeit der Granite zu dem sogenannten varistischen Gebirge zusammengeschoben hatte, fand er in dem spröden Gneistisch selbst ungleich größeren Widerstand. Auf der Grenze beider Schalen mußte es also zu Ablösungen und tektonischen

Diskordanzen kommen und zwar noch in jenem Stadium des allgemeinen Abklingens, während dessen die Granite eintraten. Soweit die Granite auf dieser Grenze liegen, und wir haben gesehen, daß dies bei den meisten und größten der Fall ist, liegen sie also tatsächlich nicht in, sondern unter dem Bereich der Faltung; ja, sie haben ihre Ausbreitung und Gestaltung geradezu dem geringen Tiefgang, ihren Zutritt selbst aber dem Vorhandensein dieser Faltung zu verdanken. Ihr Raum wird gewissermaßen aus der Verschiedenheit, ihre Energie aber zum Teil aus der Ähnlichkeit der Bewegungen von Ober- und Unterlage gewonnen¹⁾.

Einschränkungen

Bevor wir nun zum Schluß aus dem Rahmen des Batholithenproblems heraustreten, müssen wir den Geltungsbereich unseres ersten Ergebnisses und aller daraus gezogenen Folgerungen genauer begrenzen und etwas einschränken.

Es gilt, wie sich bei allen örtlichen Feststellungen geologischer Art eigentlich von selbst versteht, zunächst tatsächlich nur für diejenigen geologischen Gebilde, an denen es abgeleitet oder bewiesen wurde. Für alle anderen wenn auch noch so ähnlichen Beispiele beweist es vorerst lediglich eine Möglichkeit, nicht eine Notwendigkeit ihrer Entstehung. Wieweit auch andere, außer dem Bereich unserer Untersuchung liegende Massive auf gleiche

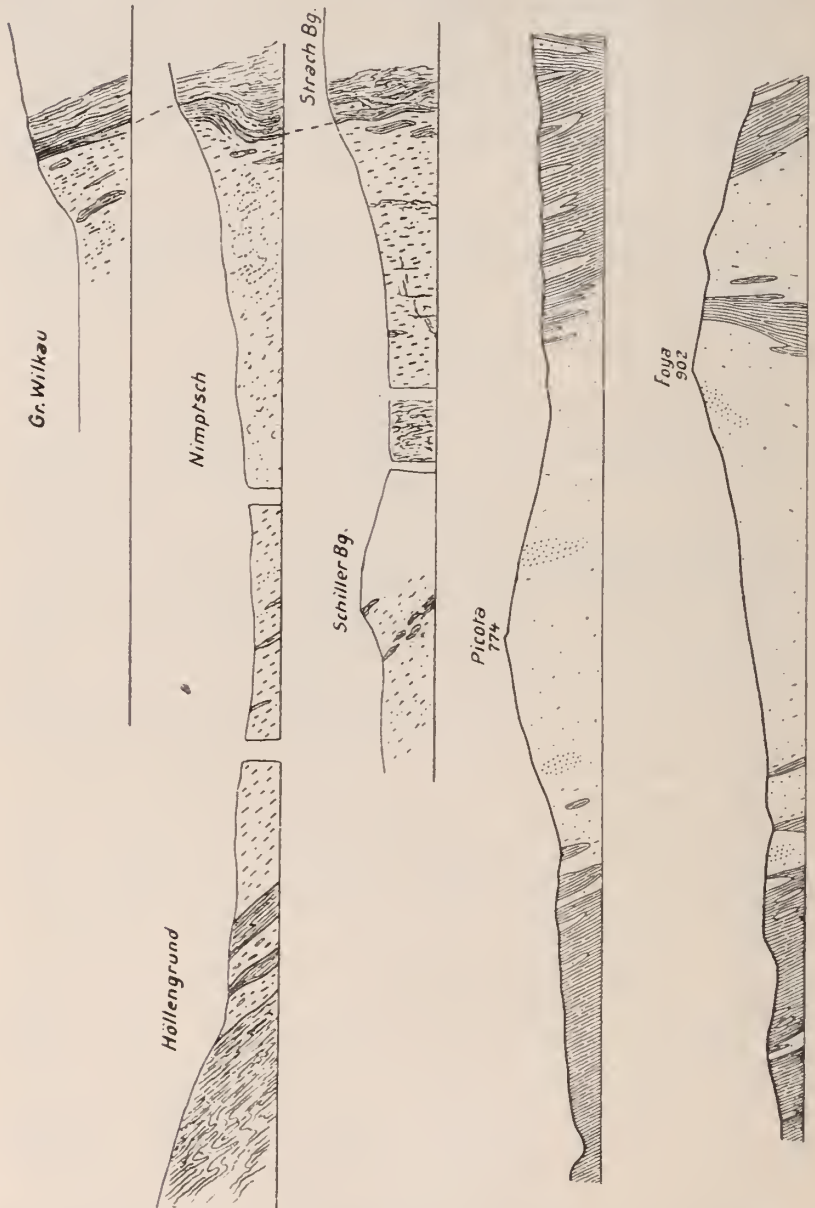
¹⁾ Um einem Mißverständnis zuvorzukommen, möchte ich daran erinnern, daß es im deutschen Boden noch eine zweite, flache Grenze gibt. Es ist die an vielen Stellen wahrnehmbare Diskordanz zwischen dem, in devonischer Zeit bereits gefalteten kaledonischen Gebirge, in welchem auch die Gneise liegen, und den devonischen und karbonischen Schichten, die erst später zu dem eigentlichen varistischen Gebirge im engeren Sinne gefaltet wurden. Diese Grenzfläche liegt in der Regel über der Gneis-sedimentgrenze und fällt nur da, wo silurische und kambrische Sedimente fehlen, mit ihr zusammen. Für die Ausbreitung der Granite scheint diese höhere Schalgrenze weniger Bedeutung zu haben, begreiflicherweise, da die varistische Faltung jene vorher bereits gefalteten Sedimente noch einmal zu falten vermochte und in das varistische Gebirge im weiteren Sinne einbezog, die tektonische Sohle desselben also doch auf dem Gneis selbst lag. Die tektonische Diskordanz liegt, so kann man sich kurz ausdrücken, tiefer als die stratigraphische und die Granite folgen im allgemeinen der tektonischen.

Ich konnte mich für diese Darlegungen auf wichtige, in der vorliegenden Serie zur Veröffentlichung kommende Untersuchungen E. Bederkes in Schlesien stützen. Danach ist die Hauptfaltung der Sudeten kaledonisch und die varistische Tektonik nur schwach und von geringem Tiefgang.

Weise wirklich entstanden sind, hängt im einzelnen noch von dem Ausfall örtlicher Untersuchungen ab, bei welchen die im vorigen angegebenen Gesichtspunkte und Methoden nicht außer acht gelassen werden sollten. Es hängt aber im weiteren Sinne auch von der Frage ab, welchen Raum man neben unseren Ergebnissen den beiden andern massivbildenden Vorgängen, dem mechanischen Stoffaustausch („Aufstimmung“) und der Einschmelzung zugesteht.

Einschmelzung, um damit zu beginnen, gibt es zweifellos, zweifellos werden Teile des Daches mechanisch gelöst und im Granit verflüssigt, seinem Stoffbestand zugeführt. Beispiele finden sich am Kontakt fast eines jeden größeren Massivs. Aufschmelzung in breiterem Maßstabe ist am Dache der Lausitzer Granitplatte beobachtet worden, wo eine weitverbreitete Granitvarietät, der Zweiglimmergranit, eben auf die reichliche Aufnahme von Fremdstoffen zurückgeführt wird. Assimilation reichlichen Fremdstoffs hat E. Kaiser für die Form und den Gesteinsinhalt südafrikanischer Syenitstöcke verantwortlich gemacht. Ja, man wird damit rechnen müssen, daß bei größeren Massiven von den Wänden der ursprünglichen Eintrittsfuge nichts mehr erhalten ist. Klassisches Gebiet für Einschmelzungen in großem Stile waren bis vor kurzem die Pyrenäen. Demgegenüber aber hat bereits Erdmannsdörffer unter Berufung auf Zirkel, Broegger, van Hise und Vogt sehr scharf und überzeugend den Bereich der Einschmelzung abgegrenzt, ja, auf ein, den Kontakt begleitendes Minimum beschränkt (S. 762): „Der Granitschieferkontakt am Ostrande des Massivs von Querigut-Millas ist also dadurch charakterisiert, daß granitischer Schmelzfluß mechanisch in die Schieferungsfugen der anstoßenden Schiefer und Phyllite eingepreßt worden ist — Injektion —, an anderen eine Einschmelzung von Schiefer im Granit stattgefunden hat. Beide Vorgänge sind meist auf den unmittelbaren Kontakt beschränkt und erreichen nur lokal eine größere Ausdehnung, etwa 100—150 m. Es ist daher meiner Meinung nach unmöglich, Granitmassive dieser Art als eine in situ umgewandelte Sedimentmasse zu betrachten, oder als eine durch einen gasförmigen „apport durable“ entstandene Pseudomorphose nach Sedimenten zu deuten. Die Hauptmasse des Granits ist als Granitmagma in die Höhe gekommen, hat intrusiv ihre heutige Stellung erlangt und nur randlich Einschmelzungen hervorgerufen.“

Einer ähnlichen Einschränkung bedarf die Aufstimmung. Auch hierfür, d. h. für die Loslösung von Schollen aus dem Dach



und ihren mechanischen Übergang in den Granit, gibt es Beispiele genug. Sehr große Exemplare fand Salomon im Adamello, ich

habe zahlreiche ansehnliche Schollen bei Strehlen untersucht (die allerdings, wie wir sahen, für den vorliegenden Zusammenhang

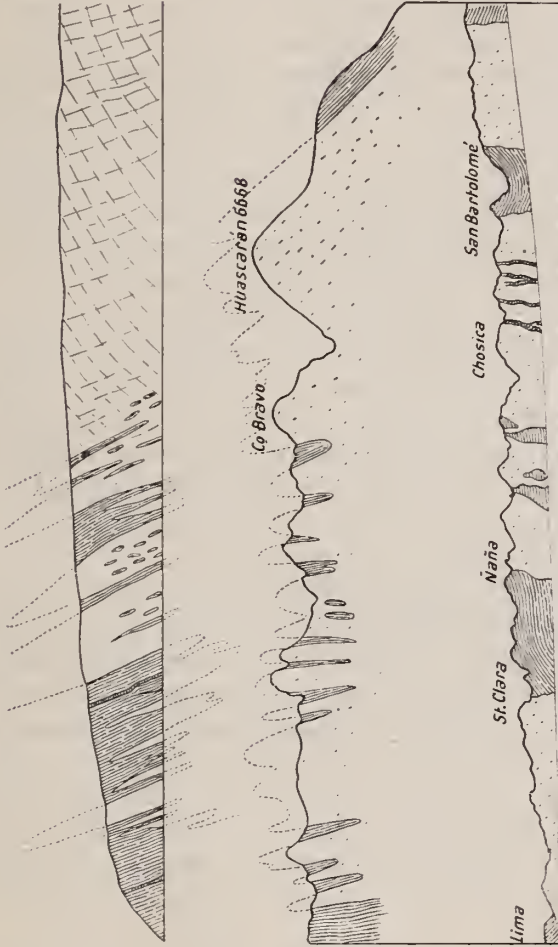


Fig. 24. Acht Profile durch konkordante Massive in gefaltetem Gebirge. — 1—3. Syenitmassiv von Nimptsch in Schlessien (nach H. Cloos, 1922). — 4 und 5. Syenitmassiv der Serra de Monchique in Portugal (nach E. Kaiser, 1914). — 6. Kontakt des mittelböhmisches Granitmassivs mit dem Algonkium am rechten Sazawauer (nach M. Kettner). — 7 und 8. Höheres und tieferes Profil durch die südamerikanische Cordillere, punktiert Granodiorit (nach G. Steinmann, 1910).

nichts beweisen). Die Literatur ist von weiteren Beispielen voll. Diese Tatsache steht mit unseren übrigen Ergebnissen keineswegs

in Widerspruch. Denn die Abspaltung großer Schollen ist ja, wenn man will, nichts anderes als eine organische Fortsetzung der Granitintrusion in diskordante Nebengesteinsfugen und insofern auch in unserem Rahmen eine selbstverständliche und notwendige Erscheinung.

Es wäre also durchaus denkbar, daß dieselben Vorgänge der Aufstimmung und Einschmelzung, die in unseren Beispielen die Rolle einer Begleiterscheinung spielen, an anderen Stellen der Erde als Hauptvorgänge wirksam wären. Infolgedessen kommt es in erster Linie darauf an, das Verhältnis dieser beiden gesteinszerstörenden Faktoren gegen die gesteinsverdrängenden quantitativ von Fall zu Fall abzuwägen. Daß das Verhältnis anderswo bei sonst gleicher Aufschlußtiefe und bei sonst gleichen tektonischen Bewegungen grundsätzlich von dem unsrigen verschieden wäre, ist von vornherein wenig wahrscheinlich. Anders dagegen liegt die Frage, wenn sich die tektonischen Bedingungen verschieben, also z. B. bei gleichzeitiger Faltung, oder wenn die Tiefe erheblich zunimmt. Besonders die Bedingungen zur Einschmelzung dürften in größeren „abyssischen“ Tiefen erheblich günstigere werden. Endlich könnte man mit grundsätzlichen Änderungen in weit zurückliegenden, auch sonst grundsätzlich verschiedenen Abschnitten der Erdgeschichte rechnen. Von dieser letzteren Möglichkeit wollen wir im folgenden absehen.

Der Faktor gleichzeitige Faltung braucht im vorliegenden Zusammenhang nur kurz diskutiert zu werden (vgl. Fig. 24). Denn Faltung ist konkordante Tektonik im Gegensatz zur Bruchbildung; sie ist es auch im Verkehr mit dem Magma, so daß sie konkordante Massive erzeugt, also keine Batholithen im ursprünglichen Sinne, und insofern kein Raumproblem darbietet. Dagegen ist damit allerdings die zuletzt angeschnittene Frage der Massivform in größerem Sinne noch keineswegs erledigt. Liegen auch solche eingefalteten Massive auf fremder Unterlage, oder gibt es unter ihnen welche, die unmittelbar und breit in die ewige Teufe fortsetzen?

Insoweit die Sedimentschale, welche gefaltet wurde, dabei auf dem Magmauntergrund selbst schwamm, ist mit der letzteren Möglichkeit zu rechnen. Man könnte hier an die riesigen Andenbatholithe oder auch vielleicht an die konkordanten Massive der Pyrenäen, der Bretagne und andere Beispiele denken. Ich halte wirklich bodenlose Batholithen in dieser Form und unter diesen

Bedingungen für durchaus möglich und wahrscheinlich. Doch fehlt es auch an Bedenken nicht. So hat z. B. Steinmann aus den Anden Profile abgebildet, in welchen anscheinend die Unterlage solcher Massen bloßliegt, ihrerseits wie ein Rost oder Sieb gestaltet, durch dessen Lücken die Schmelze emporsteigt. Ich habe Steinmanns Profile mit anderen zusammengestellt, welche andere denkbare Tiefenfortsetzungen konkordanter Massive zur Anschauung bringen (Fig. 24). Bei einigen, wie den schlesischen Syeniten, verjüngen sich die Flanken nach unten. Bei anderen, so außer in den Andenprofilen etwa auch bei dem Bilde aus Böhmen, könnte man daran denken, daß der Granit auf einer tektonischen Abscherungsfläche läge, über welcher das Hangende, und nur das Hangende, gefaltet wurde. In wieder anderen Fällen bleibt aber auch die Möglichkeit einer Verbreiterung offen.

Die Verhältnisse in größerer Tiefe

Etwas eingehender müssen wir uns schließlich noch der Frage zuwenden, bis zu welcher Tiefe unsere Ergebnisse gelten mögen. Daß diese Tiefe begrenzt ist, lehrt uns die Geophysik, die unter der spröden Erdkruste schon in 40—70 km Tiefe eine bruchlose atektonische Unterschicht, unter ihr in 120 km Tiefe den Beginn einer geologisch einförmigen, nur noch vertikal gegliederten Barysphäre annimmt. Daß der Geltungsbereich unserer Ergebnisse nach der Tiefe begrenzt ist, lehrt ja schon das bloße Vorhandensein von Laven, die heißer sind als der Schmelzpunkt der meisten Erdkrustengesteine.

Für den Geologen ist nur die Frage von Bedeutung, ob Teile, die einmal in solcher Tiefe gelegen haben, an der heutigen Erdoberfläche vorhanden sind.

Man hat gewisse Gneisareale als Schauplatz solcher gewaltigen, in großen Tiefen erfolgten Aufschmelzungen angesprochen und dabei in erster Linie an die seit langem in Hebung befindlichen Blöcke der Erde gedacht; als Muster gilt Fennoskandia.

Insofern vereinfacht sich die letzte Frage dahin, ob unsere Ergebnisse am Granit auch für die Gneise oder wenigstens für gewisse Gneise Geltung haben oder nicht.

Für jene sehr tiefen und sehr alten Blöcke besteht die Annahme einer Aufschmelzung an Ort und Stelle ersichtlich zu recht. In anderen, mir persönlich bekannten Gebieten ist jedoch die gute Erhaltung der Schichtflächen, die schöne passive Anpassung der

Granitgneise an die Sedimente mit Aufschmelzung schwer vereinbar (Fig. 4). Denn diese Konkordanz, die man gern als Beweis für ein besonders intimes Wechselverhältnis von Granit und Schmelze ansieht, ist doch u. U. gerade umgekehrt der Ausdruck dafür, daß der Granit die Schichtflächen seines Nebengesteins nicht angetastet (angeschmolzen), sondern respektiert hat.

Ich denke hierbei besonders an die südliche Böhmisches Masse, die ebenfalls seit langem als Beispiel für sehr tief liegende Aufschmelzungszonen der Erdrinde gilt. Die sehr ausführlichen Untersuchungen des letzten Jahres haben mich zweifelhaft gestimmt. Besteht doch daselbst ein enge Analogie zwischen der Verteilung und Reihenfolge der Gneise und derjenigen der jüngeren oben beschriebenen Granite. Nicht nur, daß auch die Gneise mit basischen Schmelzen einsetzen und mit sauren gipfeln und enden. Auch ihre Zufuhr scheint nicht in breiter Front von unten nach oben erfolgt zu sein, sondern aus einer, im Verhältnis eng begrenzten Wurzelzone, die am Pfahl gelegen, mit derjenigen der jüngeren Granite örtlich zusammenfällt. Sogar die Verbreitung der Granitgneise fällt in rohen Umrissen mit derjenigen der Granite zusammen, ein Umstand, der für die irrtümliche Vorstellung eines einheitlichen Granitmassives im Passauer Wald verantwortlich war.

Wenn sich diese Beobachtungen in dieser Form und Deutung bewahrheiten sollten, so müßte also auch unter diesen Granitgneisen eine noch ältere Unterlage liegen, und das Gneismagma diese durchbrochen, nicht eingeschmolzen haben. Der Unterschied gegen die Ausbreitung der Granite bestünde dann nur darin, daß die Gneisgranite in eine noch faltbare Oberschicht eintraten und mit ihr gefaltet wurden, während sich die Granite unter der bereits gefalteten Oberschicht ausbreiteten; die Zufuhr und Einfaltung der Gneisgranite könnte also in ähnlicher Weise wie diejenige des konkordanten Andengranits vor sich gegangen sein.

Ich würde diese sehr hypothetischen Gedankengänge hier nicht ausführen, wenn nicht in benachbarten, gleichwertigen Gebieten Ähnliches wiederkehrte. Läßt doch Kossmat die Gneise des Erzgebirges mit der Faltung ihres Nebengesteins seitwärts vordringen und haben wir doch im Sudetenvorland bei Groß-Wandriß ebenfalls einen Gneisgranit, der mit seiner Schieferhülle von SW nach NO vordringt, später von einem ähnlichen Granit gefolgt.

Mit diesen wenigen Andeutungen möchte ich die Gneise wieder verlassen. Es lag mir nur daran, dieses schwierige und

tektonisch noch beinahe unerforschte Gebiet insoweit zu betreten, daß die Geltungsgrenzen unserer Ergebnisse am Granit deutlich hervorträten.

Das Resultat läßt sich an diejenigen des vorigen Abschnittes kurz so anschließen: Die Grenze des höheren, hypabyssischen und des tieferen, abyssischen Bereiches des Tiefenvulkanismus liegt tiefer als man gewöhnlich annimmt. Zahlreiche, vielleicht die meisten „Batholithen“ liegen noch in dem hypabyssischen Bereich, welcher auch die Lakkolithen beherbergt. Zu ihm gehört vielleicht auch ein Teil der aus Granit hervorgegangenen Gneismassive.

Batholithentheorie, Assimilation und Differentiation

Ich kann diese Untersuchung nicht abschließen, ohne wenigstens kurz auf den Stoff selbst einzugehen, von dem uns bisher nur die Tektonik beschäftigt hat. Dies ist um so notwendiger, als sich die heutige Gesteinslehre ungefähr gleichzeitig mit dem Batholithenbegriff und unter seinem Einfluß entwickelt hat. Dieser Einfluß tritt besonders in der Assimilationsfrage hervor. Die Batholithenbildung stellt der Schmelze die Aufgabe, gewaltige Mengen von Fremdstoffen zu verarbeiten und in ihren Stoffbestand aufzunehmen (zu assimilieren). Da nun erfahrungsgemäß die aus den Schmelzen erstarrenden Gesteine nicht die zu erwartende Abhängigkeit von jenen aufgenommenen Fremdstoffen erkennen lassen, so wurde angenommen, daß das flüssige Gesteinsgemisch vor der Erstarrung noch einen Zerlegungs-(Differentiations-)Prozeß durchmacht und die Gesteine selbst also erst aus der Reihenfolge: Magmenzufuhr, Assimilation, Differentiation hervorgehen. Durch diese Überlegung trat aber auch das Differentiationsproblem selbst mit dem Batholithenbegriff in Beziehung. Eine zweite, weniger bewußt herausgearbeitete Beziehung entstand dadurch, daß der Batholithenbegriff der Magmenbildung große offene Räume mit Gelegenheit zu freiem Stoffaustausch in allen Richtungen zur Verfügung stellte. Ferner gestattete der Batholithenbegriff der Gesteinslehre, mit einem ruhenden und doch in diesem Ruhezustand lange Zeit flüssig bleibenden Magma zu rechnen.

Die veränderte Auffassung von der Form und Bildung großer Granitmassive, zu der wir gelangt sind, stellt uns nun vor die Aufgabe, die vorhandenen petrographischen Anschauungen mit

diesen neuen Tatsachen in Übereinstimmung zu bringen. Ich möchte mich auch da auf ganz kurze Andeutungen und auf das oben enger umgrenzte Gebiet beschränken.

Was zunächst die Assimilation angeht, so ist sie zweifellos vorhanden und für viele Erscheinungen geologischer Art unentbehrlich (siehe oben S. 63), aber sie besitzt nicht entfernt das Ausmaß, das ihr der Batholith als ein riesiger, aus der Kruste herausgeschmolzener Gesteinskörper verlieh. Dadurch verliert sie auch die Bedeutung als Hauptursache und Hauptstofflieferant für die Differentiation. In keinem unserer Beispiele wird auch nur annähernd Stoff genug aufgenommen, um aus einem basischen Muttermagma Granit zu machen. Dieser letztere Prozeß spielt, wenn überhaupt, jedenfalls nur in einer sehr viel größeren Tiefe, scheint mir aber überhaupt äußerst zweifelhaft. Mit unseren geologisch-tektonischen Vorstellungen steht die Annahme eines selbständigen Granites neben basischen Gesteinen in besserem Einklang. Auch Erdmannsdörffer hält 1917 in einer kritischen Besprechung der modernen Differentiationslehre an der Vorstellung zweier Magmen, eines granitischen und eines gabbroiden fest (Geol. Rundsch.). Überhaupt kommt die neugewonnene Auffassung von der Batholithenbildung derjenigen Richtung in der Petrographie sehr entgegen, welche die vulkanische Schmelze für ein selbständiges, stofflich von der Umgebung beinahe unabhängiges und demgemäß aus sich selbst heraus begreifbares Gebilde ansieht.

Ganz ähnlich liegt die Frage des Differentiationsschauplatzes, soweit wir als solchen die Massivräume ansprechen dürfen. Die meisten herrschenden Differentiationstheorien rechnen mit großen hohen Räumen, in welchen das Magma längere Zeit sich selbst und seinen inneren Austauschbewegungen überlassen bleibt. Insbesondere wird daran gedacht, daß sich in diesen Räumen die Mineralien nach ihrer Schwere voneinander trennen, die schweren einen basischen Boden, die leichten obenauf einen „sauren Kopf“ bildend (siehe oben S. 2). Dem ist entgegenzuhalten, daß die zahlreichen, im vorigen untersuchten Massive, falls meine Folgerungen richtig sind, mit ihrem Herde nicht offen kommunizieren, also auch nicht unmittelbar als seine saure Schlacke gelten können. Die leichten Schmelzen müßten also in sehr viel größerer Tiefe abgeschieden und von da bereits als solche aufgepreßt worden sein.

Man hat früher auch in sehr vielen kleinen Massiven den Schauplatz der Differentiation selbst gesehen (Brocken, Bayrischer

Wald, Zobten, Schlesische Syenite, die Diorite, Syenite und Granite bei Friedeberg in Schlesien, gemischte Gänge usw.). Man hielt die basischen Teile der genannten Massive für örtliche Ausscheidungen oder für basische Randfazies usw. Es gibt zweifellos solche Massive. Aber von den oben genannten hat keines der geologischen Nachprüfung standgehalten. Überall zeigte sich vielmehr, daß, wie es insbesondere Erdmannsdörffer am Brocken überzeugend gelehrt hat, die Teilmagmen bereits als solche in ihren heutigen Raum eingetreten sind, die Differentiation also an tieferer Stelle vor sich ging. Dies stimmt mit dem im vorigen Absatz gewonnenen Ergebnis überein.

Andererseits ist, wenn man auf geologischem Wege dazu kommt, an Stelle großer hoher, unten offener Räume kleinere, ringsherum geschlossene zu setzen, sehr viel gewonnen für den Begriff des vulkanischen Herdes. Von einem Herde verlangt die Vulkanlehre, daß er während eines längeren, aber doch scharf begrenzten Zeitabschnittes der Erdgeschichte gleiche oder gleichartige (blutsverwandte) Schmelzen fördere und daß er dabei von anderen, oft nah benachbarten Herden getrennt und unabhängig bleibe. Dieser Forderung vermag der gewissermaßen grenzenlose, von oben nach unten erstarrende und zurückweichende Batholith nicht gerecht zu werden. Kleinere, durch die Erdkruste verästelte, an- und abschwellende, dabei eng an den Gebirgsbau angepaßte Magmenstücke dagegen erfüllen sie. Dieser Vorteil tritt bei dem Beispiel der jungpaläozoischen Magmenförderung in Mitteleuropa besonders deutlich hervor. Von vielen Seiten sind die Ergüsse des Rotliegenden mit den Tiefenstöcken des Karbons zusammengebracht und auf gemeinsame Herde zurückgeführt worden. Diese Vorstellung läßt sich mit der oben erkannten Anreicherung der jungpaläozoischen Magmen auf der Sohle des varistischen Gebirges vortrefflich vereinigen. Entspringen doch die meisten Ergüsse aus Sedimentmulden, die, wie Born überzeugend ausgeführt hat, über der Grenze altpaläozoischer Faltengebirge und kristalliner Blöcke angelegt sind. Die rotliegenden Herde würden also genau an der Stelle liegen, die ihnen unsere früheren Untersuchungen (S. 54 ff.) anweisen: Zur Zufuhr hat die Fuge zwischen zwei Blöcken, zur Ausbreitung die Gneissedimentgrenze gedient. Ihr Zusammenhang mit den wenig älteren Granitstöcken wäre darin zu sehen, daß letztere längs derselben Ausbreitungsfläche höher gestiegen, daher früher erstarrt und z. T. bereits von der permischen Landoberfläche

entblößt waren, während die tieferen, unter den Mulden und im Gneissockel verborgenen Teile länger flüssig blieben und durch jüngere Bewegungen noch einmal zum Durchbruch (diesmal bis zur Oberfläche) gebracht werden konnten.

So scheint es, daß unsere geologischen Ergebnisse, auf petrographische Tatsachen angewandt, neben mancherlei noch zu überwindenden Schwierigkeiten unverkennbare Erleichterungen bieten.

Es dürfte für beide Forschungszeige von Nutzen sein, wenn sich die weiteren Untersuchungen unter möglichster gegenseitiger Föhlung vollziehen.

Ergebnisse

I. Form und Bildungsweise der Massive

Die Untersuchung geht von dem zurzeit geltenden Batholithenbegriff aus. Dieser besagt, daß die meisten großen Granitgebiete der Erde nur die Gipfel noch größerer pyramiden- oder kegelförmiger Massive sind, die sich unter Aufnahme oder Vernichtung aller vorher an ihrer Stelle vorhandenen Gesteine aus unbekannter, „ewiger“ Teufe emporgearbeitet haben.

Der Batholithenbegriff hielt diese mit gewissen physikalischen Schwierigkeiten verbundene Erklärung für notwendig in allen den Fällen, wo der Granit das Gefüge seiner älteren Umgebung abschneidet, so daß deren Fortsetzung im Granit verschwunden scheint (sog. diskordanter Kontakt).

Demgegenüber ließ sich zunächst zeigen, daß derselbe Gesteinsverband auch auf anderem, sozusagen „natürlichem“ Wege entstehen kann: Im südlichen Bayrischen Walde nämlich liegen typische „Batholithen“ nicht unter, sondern zwischen ihren älteren Nebengesteinen und zwar in der Weise, daß dieselben Gesteine, die auf dem Granit, von ihm abgeschnitten, aufhören, unter ihm wieder anfangen und unverändert fortsetzen. Der Granit hat also sein Nebengestein nicht in sich aufgenommen, sondern nur auseinandergedrängt. Sein durchgreifender oder diskordanter Verband wurde überhaupt nicht durch den Granit selbst erzeugt, sondern durch (wahrscheinlich ältere) diskordante Gesteinsfugen, welchen der Granit nur zu folgen brauchte. Auf diesen flachliegenden Fugen vordringend, schwoll der Granit zu plattenförmigen Gängen, weiterhin zu mächtigen gewölbten Kuchen an, vor denen das ältere

Gestein nach oben, nach den Seiten (und nach unten) anwich. Der Erstarrungsraum des Granits wurde nur zum kleinsten Teil ans aufgenommenem Nebengestein gewonnen, in der Hauptsache vielmehr durch seinen Zutritt neu geschaffen.

Dieses örtliche Ergebnis kam gewissen, vom Verfasser im Laufe der letzten zwölf Jahre an zahlreichen Granitmassiven gewonnenen Beobachtungen und Vorstellungen so vollkommen entgegen und ließ sich unmittelbar an so zahlreichen und wichtigen Beispielen bestätigen, daß es — unter Berücksichtigung gewisser, auf S. 62 vorgenommener Einschränkungen — wie folgt verallgemeinert werden konnte:

1. Die großen, im vorigen untersuchten plutonischen Massive haben ihren Platz in der umgebenden Kruste nicht durch Vernichtung (mechanische oder physikalisch-chemische Auflösung) derselben, sondern durch ihre Verdrängung gewonnen. Die Massivbildung bedeutet also nicht eine Zustandsänderung vorher vorhandener Gesteine (Aufschmelzung und Wiederverfestigung), auch nicht einen bloßen Stoffanstansch zwischen höheren und tieferen Stockwerken der Kruste (Anfstemmung und Platztausch), sondern ein Plus an neuem aus der Tiefe zugeführtem Material. Der Raum für diesen Zuwachs wurde durch Ausweichen nach oben, nach den Seiten und nur z. T. auch nach unten gewonnen.

2. Ein solcher Bildungsvorgang wurde bisher nur für kleine und konkordante Massive angenommen, die man als Lakkolithen bezeichnete. Er ist nunmehr auch auf diskordante und vor allem auf sehr große Massive auszudehnen und umfaßt einen Teil, wahrscheinlich einen sehr großen Teil, der sogenannten Batholithen.

3. Die diskordante, die Schichtung von Dach und Wänden abschneidende Grenzfläche solcher Massive hat somit ihre Ursache nicht in einer besonderen durchschneidenden, zerstörenden Kraft des Granits, sondern in der für den Granit zufälligen, weil außer ihm liegenden Tatsache, daß die Fuge, die er vorfand und betrat, schon vorher das Nebengestein diskordant durchschnitt.

4. Die Ähnlichkeit mit Lakkolithen geht soweit, daß viele dieser Massive mit ihrem Herde nur durch einen engen, meist gangförmigen Kanal verbunden sind und sich von diesem aus auf fremder, älterer Unterlage seitlich ausbreiten.

5. Die Entscheidung, ob ein konkordanter Lakkolith oder ein diskordantes, scheinbar batholithisches Massiv zustande kommt, liegt offenbar beim Nebengestein: Findet die Schmelze flach aus-

gebreitete Schichtfugen, so wird sie diese bevorzugen (Drammenlakkolith, Buschfeld, Sudbury, Rotliegendlakkolithen in Deutschland, Striegauer Massiv und andere), tritt sie dagegen in bereits gefaltetes Gebirge ein, so müssen und können bis zu einem gewissen Grade Kluffugen Ersatz bieten. Hierans erklärt sich bis zu einem gewissen Grade auch die erdgeschichtliche und die

II. Regionale Stellung der Massive

Man hatte bisher den Ursprung und Sitz der Granitmassen vorzugsweise im Inneren und Untergrund der großen Gebirgsblöcke gesucht. Für die varistischen Granite scheint diese Annahme jedoch nicht zuzutreffen:

1. Zum Aufstieg der Granitschmelze dienen vielmehr gerade die großen Schollengrenzen² und andere wichtige Fugen des Gebirgsbaus. Ja, je wichtiger, länger und tiefer diese Fugen, desto größer im allgemeinen die auf ihnen geförderte Granitmenge.

2. Die seitliche Ausbreitung bedient sich gern flacher und daher vielfach stratigraphischer Fugen. Diskordanzen werden bevorzugt. Auch hier besteht ein Verhältnis zwischen der Wichtigkeit der Fuge und der Größe des Massivs.

3. Hauptausbreitungsfläche für die sogenannten varistischen Granite ist die Grenze der Gneis- und der Sedimentschale. Die weitaus meisten mitteleuropäischen Massive liegen infolgedessen nicht in, sondern unter dem varistischen Gebirge und trennen es von seinem älteren Gneissockel. Nur wenige Zweige reichen in das karbonische Faltengebirge selbst hinauf. Nur verhältnismäßig kleine Stöcke findet man anderseits unter jener Grenze im Gneis.

Die Gneissedimentgrenze ist gewissermaßen die Obergrenze, zugleich aber auch der Hauptentfaltungsbereich des Tiefenvulkanismus und spielt für ihn eine ähnliche Rolle wie die Erdoberfläche für die Entfaltung der Vulkane.

4. An der Förderung dieser Granite scheinen vielfach gleichzeitige Transversal- und Vertikalverschiebungen der angrenzenden Schollen beteiligt zu sein. Auch in den flachen Massivteilen hat die Granittektonik die Wirkungen gerichteten Druckes festgehalten.

III. Beiträge zur Granittektonik

Eine bewußte Weiterentwicklung der Methode wurde durch die im Vorigen mitgeteilten Spezialarbeiten nicht angestrebt. Doch gelang es, zwei Lücken auszufüllen, indem sich einmal die lineare

Streckung der Granite in räumliche und genetische Beziehung setzen ließ zu flächenhafter, zum anderen beide in engem Verbande mit einer normalen, eindeutigen und gut bekannten regionalen Tektonik auftraten. Beide Ergebnisse bestätigten die in den verwickelteren Verhältnissen Schlesiens gewonnenen Vorstellungen. Doch liegt die Gangfolgschaft in den Graniten des Bayrischen Waldes auf anderen Flächen, die zwar der Fläche S nahe stehen, aber vielleicht nicht mehr zum engeren Primärgefüge gehören.

Auch im Passauer Walde zeigen die Granite eine ungemein regelmäßige Wölbung der Faser, Fächerstellung der Q-Klüfte. Neu und wichtig ist die Feststellung, daß diese bisher mit dem Auftrieb des Granits verknüpfte Wölbung daselbst auch innerhalb flacher, auf fremder Unterlage anrunder Platten vollständig entwickelt ist.

Mit Hilfe der Wölbung gelang es, nach Untersuchung eines Massivteiles den Verlauf und die Form des ganzen Massivs aus der Ferne bis auf 4 % Genauigkeit vorauszusagen. Man darf hierin eine Art experimentellen Beweis für die Richtigkeit und Zuverlässigkeit der Methode erblicken.

Aus den vorigen Tatsachen ergeben sich noch einige

IV. Allgemeinere Folgerungen

1. Die Gesteinslehre hat kein Recht, in diskordanten Massiven unter allen Umständen mit umfangreicher Aufnahme fremder Stoffe seitens der Schmelze zu rechnen. Assimilation spielt mit, aber sie ist in vielen Fällen ein Begleit- kein Hauptvorgang. Ebenso gehen Schollen in die Schmelze über und versinken in ihr, aber nur ein kleiner Teil des Massivraumes wird auf diesem Wege gewonnen. Das aus der Erstarrung der Schmelze hervorgehende Gestein hat also in der Hauptsache die Eigenschaften der Tiefenschmelze rein bewahrt.

2. Für die zur Gesteinsbildung führenden Vorgänge der Differentiation stehen innerhalb der höheren Kruste keine großen, hohen Schmelzräume zur Verfügung, die einem vertikalen, von der Schwere diktierten Stoffaustausch günstig wären. Vielmehr wirkt die verzweigte Lage der plutonischen Massen auf den Fortschritt der Schwereschichtung der oberen Erdschale hemmend und verzögernd ein.

3. Umgekehrt dient der Tiefenvulkanismus neben dem vertikalen in höherem Maße auch dem horizontalen Stoffaustausch.

4. Mit dem breiten flächenhaften Anstritt von Schmelzmassen an die Erdoberfläche ist im allgemeinen nicht zu rechnen. Das Fehlen echter, von der Batholithentheorie geforderter „Areal-eruptionen“ kann damit als erklärt gelten.

5. Soweit diese Verallgemeinerung zutrifft, verschiebt sich der Anteil des Granits an den oberen Teilen der Erdkruste zugunsten anderer, älterer Gesteine. Die relative Granitmenge ist ungleich geringer als man bisher annahm, ja stellenweise — trotz breiter Granitoberflächen — verschwindend klein. Auf Kosten des Granits gewinnt in den meisten Beispielen der Gneis an Ausdehnung, während paläozoische Sedimente seltener unter Granit geraten sind.

V. Einschränkungen

Bei dem ungemein komplexen Charakter des Problems mußten diese Ergebnisse vorerst auf diejenigen Beispiele eingeschränkt werden, an welchen sie durch unmittelbare Beobachtung oder durch Anwendung der Granittektonik sicher gestellt werden konnten. Mit grundsätzlich anderen Verhältnissen ist in erster Linie in größerer Tiefe, demnächst in sehr alten Erdperioden, vielleicht aber auch in anderen Erdräumen zu rechnen. Auch der Faktor gleichzeitige Faltung schafft weitgehend andere Bedingungen, wodurch ein Teil der konkordanten Massive ausscheidet.

Für andere Gebiete lehren unsere Beobachtungen also znnächst nur eine Möglichkeit, in dem Sinne, daß wir zu der batholithischen Erklärung, welche die weitergreifende und hypothetischere ist, erst zu greifen brauchen und erst greifen dürfen, wenn die andere nicht anwendbar ist.

VI. Praktische Folgerungen

Durch die sogenannten granittektonischen Untersuchungen hatte sich im Laufe der letzten Jahre zeigen lassen, daß die geologische Wissenschaft an den Graniten nicht mehr Halt zu machen braucht. Sie kann mit dem Kompaß die Tektonik in Gebiete tragen, die bisher nur der Chemie und dem Mikroskop zugänglich waren. Die Anwendung dieser Methode förderte aber im Vorigen ein Ergebnis, das uns hoffen läßt, daß auch die geologische und bergbanliche Praxis an den Graniten nicht immer Halt zu machen braucht. Denn wo die Kruste von den Graniten nicht

vernichtet und ersetzt wird, sondern unter ihnen weiter geht, da werden auch die Lagerstätten der Kruste unter dem Granit weitergehen können. Nicht in allen Fällen können wir sie schon heute dort suchen oder erreichen. Und lange nicht alle Arten von Lagerstätten kommen dafür in Frage. Aber eine hoffnungsvolle Möglichkeit tut sich doch auf. Und ein Beispiel gibt uns der bayerische Graphitbergbau, der schon heute an einer Stelle bei Passau seine Schätze unter dem Granit hervorholt.

Literatur

(Im wesentlichen sind nur die im Text erwähnten Arbeiten aufgezählt)

1. J. Barrell, *Geology of the Marysville Mining District, Montana*. Professional Paper Nr. 57 U. S. Geol. Survey. Washington 1907.
2. A. Bergeat, *Plutonismus und Vulkanismus* (in Salomon: *Grundzüge der Geologie*. Teil I). Stuttgart 1922. S. 51.
3. —, *Der Granodiorit von Concepción del Oro . . . N. Jabrb. f. Min. . . B. Bd. XXVIII*. S. 421. Stuttgart 1909.
4. W. C. Brögger, *Die Eruptivgesteine des Kristianiagebietes*. Bd. II. Kristiania 1895.
5. S. v. Bubnoff, *Die Methode der Granitmessung und ihre bisberigen Ergebnisse*. Geologische Rundschau Bd. XIII Heft 2.
6. —, *Die Hercynischen Brüche im Schwarzwald*. Habilitationsschrift. Stuttgart 1921.
7. H. Cloos, *Geologische Beobachtungen in Südafrika*. II. *Geologie des Erongo im Hererolande*. Vorläufige Mitteilungen. Pr. Geol. Landesanst. Berlin 1911.
8. —, *Geologische Beobachtungen in Südafrika*. IV. *Granite des Tafellandes und ihre Raumbildung*. Neues Jahrb. f. Min. Beil. Bd. XLII. Stuttgart 1918.
9. —, *Der Erongo*. Ein vulkanisches Massiv im Tafelgebirge des Hererolandes und seine Bedeutung für die Raumfrage platonischer Massen. Beiträge zur geologischen Erforschung der Deutschen Schutzgebiete. Heft 17. Berlin 1919.
10. —, *Geologie der Schollen in schlesischen Tiefengesteinen*. Abhandl. d. Pr. Geol. Landesanst. N. F. Heft 81. Berlin 1920.
11. —, *Der Mechanismus tiefvulkanischer Vorgänge*. Sammlung Vieweg, Heft 57. Braunschweig 1921.
12. —, *Tektonik und Magma*. Untersuchungen zur Geologie der Tiefen. Bd. I. Abhandl. d. Pr. Geol. Landesanst. N. F. 89. Berlin 1922. Bd. II. Berlin 1923 (in Vorbereitung).
13. —, *Der Gebirgsbau Schlesiens und die Stellung seiner Bodenschätze*. Gebr. Borntraeger. Berlin 1922.
14. —, *Kurze Beiträge zur Tektonik des Magmas, I und II*. Geolog. Rundschau, 1923. Heft 1.
15. —, *Was liegt unter dem Granit?* Die Naturwissenschaften 1923. Heft 1, Berlin.
16. W. H. Cross, *The Laccolitic Mountain Groups of Colorado, Utah and Arizona*. 14. Ann. Rep. U. S. Geol. Survey. II. 1894.
17. R. A. Daly, *The Geology of Ascutney Mountain, Vermont*. Bulletin Nr. 209. U. S. Geol. Survey. Washington 1903.
18. —, *The Classification of Igneous Intrusive Rock Bodies*. Journ. of Geology 13. 1905. S. 485 ff.
19. —, *Abyssal Igneous Injection as a Causal condition and as an Effect of Mountain-building*. Am. Journ. of Sciences IV. Ser. 22. 1906. S. 195—196.

20. R. A. Daly, *Mechanics of Igneous Intrusion*. Am. Journ. of Sciences IV. Ser. 15. 1903. S. 269—298. 16. 1903. S. 107—126. 26. 1908. S. 17—50.
21. —, *Igneous Rocks and their origin*. London 1914.
22. W. Deecke, *Geologie von Baden*. I und II. Berlin 1916—1917.
23. O. H. Erdmannsdörffer, *Bau und Bildungsweise des Brockenmassivs*. Jahrb. d. k. preuß. geol. Landesanst. für 1905. 26. 379, 1908.
24. —, *Petrographische Untersuchungen an einigen Granit-Schiefer-Kontakten der Pyrenäen*. N. Jahrb. f. Min. . . B. Bd. XXXVII. S. 739. Stuttgart 1914.
25. —, *Zur Geologie des Brockenmassivs*. 7. Jahresber. des Niedersächsischen Vereins Hannover 1914.
26. —, *Die Entstehung der Schwarzwälder Gneise*. Geologische Rundschau Bd. IV, Heft 5 u. 6.
27. P. Geijer, *On the intrusion mechanism of the Archean granites of Central Sweden*. Reprinted from Bull. of the Geol. Instit. of Upsala, Vol. XV. Upsala 1916.
28. V. M. Goldschmidt, *Der Stoffwechsel der Erde*. Videnskapsselskapets Skrifter. Kristiania 1922.
29. A. Harker, *The natural History of Igneous Rocks*. London 1909.
30. F. H. Hatch and G. S. Corstorphine, *The Geology of South Africa*. London 1909.
31. A. G. Högbom, *Fennoskandia (Norwegen, Schweden, Finnland)*. Handbuch der Regionalen Geologie 13. Heft Bd. IV, 3. Heidelberg 1913.
32. E. Kaiser, *Der Eläolithsyenitlakkolith der Serra de Monchique im südlichen Portugal*. N. Jahrb. f. Min. etc. B. Bd. XXXIX (Festband Bauer) S. 225—267. Stuttgart 1914.
33. —, *Bericht über geologische Studien während des Krieges in Südwestafrika*. Abh. d. Gießener Hochschulgesellschaft. Gießen 1920.
34. —, *Studien während des Krieges in Südwestafrika*. Zeitschr. d. D. G. Ges. Bd. 72, Jahrg. 1920, Monatsber. 1—3.
35. E. Kayser, *Lehrbuch der Geologie*. 4 Bände. I. Band. Allgemeine Geologie I. 6. Auflage. Stuttgart 1921.
36. Th. Kjærulf, *Die Geologie des südlichen und mittleren Norwegen*. Bonn 1880.
37. F. Kossmat, *Über die Tektonik des Gneisgebietes im westlichen Erzgebirge*. Centralbl. f. Min. Stuttgart 1916. S. 135 n. 158,
38. —, *Die mediterranen Kettengebirge in ihrer Beziehung zum Gleichgewichtsstande der Erdrinde*. Abhandl. d. math.-phys. Kl. d. sächs. Akad. d. Wiss. Nr. II. Leipzig 1921.
39. H. Kynaston and E. T. Mellor, *The geology of the Waterberg Tin-fields*. Transvaal Mines Department Geological Survey Memoir Nr. 4. 1909.
40. L. Milch, *Über magmatische Resorption und porphyrische Struktur*. Neues Jahrb. f. Min. 1905. Bd. II. Stuttgart 1905.
41. —, *Über Spaltungsvorgänge in granitischen Magmen, nach Beobachtungen im Granit des Riesengebirges*. Festschr. z. 70. Gedenktag v. H. Rosenbusch. Stuttgart 1906.
42. —, *Die primären Strukturen und Texturen der Eruptivgesteine*. Fortschritte der Mineralogie, Kristallographie und Petrographie. Jena 1912.
43. W. Penck, *Der Südrand der Puna de Atacama. (NW-Argentinien)*. Abhandl. d. math.-phys. Kl. d. sächs. Akad. d. Wiss. Nr. I. Leipzig 1920.
44. A. Pery, C. Mainka, E. Tams, *Einführung in die Geophysik*. Naturwissenschaftliche Monographien u. Lehrbücher. IV. Bd. Berlin 1922.
45. W. Ramsay u. V. Hackman, *Das Nephelinsyenitgebiet auf der Halbinsel Kola*. I. Karte. Fennia 1894.

46. Otto M. Reis, Die Niederkirchner und Becherbacher Intrusivmassen. Geogn. Jahreshefte 1906. XIX. Jahrg. München 1907.
47. —, Das Oberrotliegende, der Buntsandstein, die Tektonik und die plntonischen Bildungen im Bereich des Blattes Knsel der Geognostischen Karte des Königreichs Bayern. Geogn. Jahreshefte XX, München.
48. F. Rinne, Gesteinskunde. 6. und 7. Auflage. Leipzig 1921.
49. W. Salomon, Über die Lagerungsformen und das Alter des Adamellotonalites. Sitz.-Ber. Kgl. Preuß. Akad. d. Wiss. phys.-math. Kl. 1903. 14. S. 307—19.
50. —, Die Adamellogruppe, ein alpines Zentralmassiv und seine Bedeutung für die Gebirgsbildung und unsere Kenntnis von dem Mechanismus der Intrusionen. I. Teil. Abh. d. K. K. Geol. Reichsanst. Bd. XXI, Heft 1. Wien 1908.
51. P. Scharff, Petrographische Studien im granito-dioritischen Eruptivgebiet von Friedeberg in österr. Schlesien. Inaugural-Dissertation. Breslan 1920.
52. A. Sieberg, Anfbau und physikalische Verhältnisse des Erdkörpers unter besonderer Berücksichtigung der Erdrinde. Geologische Rundschau Bd. XII, Heft 6/8. Leipzig 1922.
53. G. Steinmann, Gebirgsbildung und Massengesteine in den Kordilleren Südamerikas. Geol. Rundschau I. 1910. S. 13—35.
54. C. Stieler, Ein Beitrag zum Kapitel „Klüfte“. Centralbl. f. Min. Jahrg. 1922. Nr. 21 u. 22. Stuttgart 1922.
55. N. Sundius, Atvidabergstraktens geologi och malmfyndigheter. Sveriges Geologiska undersökning. Ser. C. Avhandlingar och uppsatser Nr. 306. Stockholm 1921.
56. W. H. Weed und L. V. Pirsson, Geology and Mineral Resources of the Judith Mountains of Montana. 18. Ann. Rep. U. S. Geol. Survey III, 1898.
57. —, Geology of the Little Belt Mountains, Montana. 20. Ann. Rep. U. S. Geol. Survey III. Washington 1900.
58. F. v. Wolff, Der Vulkanismus. I. Band. Stuttgart 1914.

**Fortschritte der
Geologie und Palaeontologie**

herausgegeben
von **Professor Dr. W. Soergel**, Tübingen

Heft I

5506 (43)

Das Batholithenproblem

von

Hans Cloos (Breslau)

Mit 24 Figuren

Berlin

Verlag von **Gebrüder Borntraeger**

W 35 Schöneberger Ufer 12 a

1923

„Fortschritte der Geologie und Palaeontologie“

Die Fortschritte der Geologie und Palaeontologie bilden eine Sammelstätte für Arbeiten aus allen Gebieten der Geologie und Palaeontologie, in denen nicht die einfache Darstellung neuer Beobachtungstatsachen und die nächsten aus ihnen ableitbaren Schlußfolgerungen, sondern die Entwicklung neuer Methoden, die Lösung wesentlicher Probleme im Vordergrund stehen. Eine Schilderung neuer Tatbestände ist an sich dabei durchaus erwünscht, sie soll aber eingegliedert sein in den Rahmen einer geschlossenen Argumentation. Einfache Sammelreferate bleiben ausgeschlossen. Doch sind Arbeiten willkommen, die an der Hand kritisch gesichteter und von neuen Gesichtspunkten aus beleuchteter, bekannter Tatsachen zu neuen Lösungen führen.

Innerhalb der Geologie sollen in die Sammlung auch Arbeiten einbezogen werden, die in Grenzgebieten, in der Geophysik, in der Petrographie wurzeln, sofern sie unter Zuhilfenahme geologischer Forschungsergebnisse oder überhaupt geologischer Methoden zu wichtigen allgemeinen Ergebnissen gelangen. Gerade aus den Grenzgebieten erfahren die Einzelwissenschaften erfahrungsgemäß die stärkste Befruchtung.

Aus dem Gebiet der Palaeontologie (Palaeozoologie, Palaeobotanik) sind neben Arbeiten, die sich auf breiterer Basis mit Problemen der Phylogenie, des Entwicklungsmechanismus, der Systematik, der Palaeobiologie beschäftigen, auch solche erwünscht, die an einem oder an einzelnen Beispielen neue Methoden erläutern und prinzipielle Ergebnisse ableiten.

Geologie und Palaeontologie bilden die Grundlage der ihnen durch engste wechselseitige Beziehungen verbundenen Palaeogeographie. Aus dem umfassenden Bereich dieser Wissenschaft werden sowohl regionalen als einzelnen grundsätzlichen Problemen gewidmete Darstellungen in den Fortschritten Aufnahme finden.

Willkommen sind schließlich auch Abhandlungen, die eine Klärung der Begriffe anstreben, die Fragestellungen auf ihre Möglichkeit oder Berechtigung kontrollieren, die versuchen erkenntnistheoretisch die Grenzen der üblichen Methoden und ihre Mängel aufzuzeigen. Denn die weitere Entwicklung einer Wissenschaft und der von ihr geförderten Erkenntnisse hängt nicht nur ab von

Fortsetzung auf S. 3 des Umschlages

einer ständigen Bereicherung des Beobachtungsmaterials und seiner Durcharbeitung, sondern in vielfach stark unterschätztem Grade auch von einer stetigen kritischen Überprüfung der Grundlagen, auf denen eine Wissenschaft aufbaut, der Theorien, nach denen sie arbeitet, die Arbeitsmethode und Fragestellung, ja selbst die Beobachtungen nach Art und Auswahl entscheidend beeinflussen.

Die Fortschritte erscheinen in zwangloser Folge als selbständige Hefte von beliebigem, nicht unter 5—6 Bogen betragendem Umfang. Das Honorar wird nach Vereinbarung mit dem Herausgeber festgesetzt. Jeder Autor erhält 20 Freixemplare.

Alle Sendungen und Anfragen werden an den Herausgeber erbeten.

Die Verlagsbuchhandlung:
Geb Brüder Borntraeger
Berlin W 35, Schöneberger Ufer 12a

Der Herausgeber:
Professor Dr. W. Soergel
Geologisches Institut, Tübingen

Unter den zunächst erscheinenden Abhandlungen werden sich befinden:

Die Stämme der Reptilien von Fr. Baron Nopcsa.

Die Gliederung der Erdrinde von S. v. Bubnoff, Privatdozenten für Geologie und Palaeontologie an der Universität in Breslau.

Diluviale Flußverlegungen und Krustenbewegungen von W. Soergel, Professor an der Universität in Tübingen.

Palaeobiologische Probleme der fossilen Pflanzenwelt von W. Gothan, Dozenten an der Techn. Hochschule, Abt. für Bergbau in Charlottenburg.

Angewandte Palaeontologie und Geologie der Rand- und Flach-seegesteine und das Erzlager von Salzgitter von J. Weigelt, Privatdozenten für Geologie und Palaeontologie an der Universität in Halle a. S.

Das Devon in Schlesien und das Alter der Sudetenfaltung von E. Bederke, Privatdozenten für Geologie und Palaeontologie an der Universität in Breslau.

Die tertiären Landoberflächen in Thüringen von Br. von Freyberg, Privatdozenten für Geologie und Palaeontologie an der Universität in Halle a. S.

Der Gebirgsbau Schlesiens und die Stellung seiner Bodenschätze von Professor Dr. Hans Cloos, Direktor des Geologischen Instituts zu Breslau. Mit einer Strukturkarte, einer Profiltafel, einer Lagerstättenkarte, einer Schichtentafel und 24 Abbildungen. Gebunden 4,8

Die Ursachen der diluvialen Aufschotterung und Erosion von Dr. W. Soergel, Privatdozenten für Geologie und Paläontologie an der Universität Tübingen. Mit einer Textabbildung. Geheftet 2,25

Über die Bedingungen der Gebirgsbildung. Vorträge von Professor Dr. Karl Andrée, Direktor des Geologisch-paläontologischen Institutes an der Universität Königsberg i. Pr. Mit 16 Textabbildungen. Geheftet 3,3

Grundzüge der geologischen Formations- und Gebirgskunde von Professor Dr. A. Tornquist. Mit zahlreichen Textabbildungen. Gebunden 6,9

Grundriß der angewandten Geologie unter Berücksichtigung der Kriegserfahrungen von Dr. J. Wilser. Mit 61 Textabbildungen und 3 Tafeln. Gebunden 4,8

Wie sind geologische Karten und Profile zu verstehen und praktisch zu verwerten? Von Professor Dr. Fr. Schöndorf. Zweite Auflage. Mit 63 Textabb. Kart. 1,5

Geologisches Kartieren und Prospektieren von Professor Dr. O. Stutzer. Mit zahlreichen Textabb. Gebunden 3,9

Geologie in Tabellen von Professor Dr. Karl Andrée, Direktor des Geologisch-paläontologischen Instituts an der Universität Königsberg i. Pr. Gebunden 7,5

Phytopaläontologie und Geologie von Professor Dr. W. Deecke. Geheftet 2,25

Die hier angegebenen Preisziiffern sind die Grundzahlen, die durch Multiplikation mit der jeweils gültigen Schlüsselzahi — Mitte April 1923: 2500 — die Verkaufspreise ergeben. Grundzahlen für gebundene Exemplare sind freibleibend. Für das Ausland erhöhen sich die Preise um den vorgeschriebenen Valutazuschlag.

Ausführliche Verlagsverzeichnisse kostenfrei

AMNH LIBRARY



100223520