

Sitzungsberichte
der
Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
Mathematisch - physikalische Klasse
Jahrgang 1910, 13. Abhandlung

Metamorphe Fremdlinge
in Erstarrungsgesteinen

von

M. Weber

Mit 2 Tafeln

Vorgelegt am 3. Dezember 1910

München 1910

Verlag der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth)



DRUCKSCHRIFTEN

der

KGL. BAYER. AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

(mathematisch-physikalische Klasse)

Die mit * bezeichneten Schriften sind zwar nicht in Sonderabdrücken erschienen, es kann aber das Heft der Sitzungsberichte, in dem sie gedruckt sind, zu 1 Mark 20 Pfg. bezogen werden.

In dem nachfolgenden Verzeichnisse ist A. = Abhandlungen, Sb. = Sitzungsberichte.

Bergeat, Alfr. Die äolischen Inseln. XX, 1 1899	16 M
Egger, Jos. G. Foraminiferen und Ostrakoden der Kreidebildungen in den bayerischen Alpen. XXI, 1 1899	14 M
Fraunhofer, Jos. Gesammelte Schriften. 1888	12 M
Fuchs, J. Nep. Chemie und Mineralogie. Rede. 1824	60 S
— Theoretische Bemerkungen über die Gestaltungszustände des Eisens. VII, 1 1852	60 S
Glunzler G., Das Eruptivgebiet zwischen Weiden und Tirschenreut und seine kristalline Umgebung 1905, 2.	1 M
Groth, Paul. Ueber die Molekularbeschaffenheit der Krystalle. Festrede. 1888	80 S
— Führer durch die Mineraliensammlung des bayerischen Staates. 1891. 8 ^o	1 M
* Gümbel, Karl Wilb. Ueber das Vorkommen des Antozon-haltigen Flussspathes bei Wülzburg. 1863 I S. 301.	
* — Ueber das fränkische Knochenbett des Keupers und seine Pflanzenschichten. 1864 I S. 215.	
* — Vorkommen von unteren Triassschichten in Hochasien. 1865 II S. 348.	
* — Ueber neue Funde von Gosauschichten und Vilsenkalk. 1866 II S. 158.	
* — Weitere Mittheilungen über das Vorkommen von Phosphorsäure in Schichtgesteinen Bayerns. 1867 II S. 147.	
* — Ueber die geognostischen Verhältnisse des Montblanc nach Favre. 1867 II S. 603.	
* — Ueber Pyrophyllit als Versteinerungsmittel. 1868 I S. 498.	
— Ueber Gliederung der Procänschichten in Böhmen. X, 2 1868 S. 501	2 M 60 S
* — Der Riesvulkan. 1870 I S. 153.	
* — Ueber die Foraminiferen der Gosau- und Belemniten-Schichten. 1870 II S. 278.	
* — Geognostische Verhältnisse des Ulmer Cementmergels und über seine Foraminiferen. 1871 S. 38.	
— Sogenannte Nulliporen. I. Abtlg. Nulliporen des Pflanzenreichs (Lithothamnium). XI, 1 1871 S. 1	1 M 50 S
— Desgl. II. Abtlg. Nulliporen des Thierreichs (Dactyloporen). XI, 1 1871 S. 60	2 M 40 S
* — Gletschererscheinungen aus der Eiszeit. 1872 S. 223.	

Sitzungsberichte
der
Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
Mathematisch - physikalische Klasse
Jahrgang 1910, 13. Abhandlung

Metamorphe Fremdlinge in Erstarrungsgesteinen

von

M. Weber

Mit 2 Tafeln

Vorgelegt am 3. Dezember 1910



München 1910
Verlag der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth)

An Stellen, wo die alte geologische Karte von Gumbel einförmige Gneiß- und Granitmassen und etwas Diorit zeigt, hat der Bahnbau der Linie Waldkirchen—Neureichenau—Haidmühle neuerdings ganz andere interessante Gesteine erschlossen, die ich in ihrer Bedeutung für die Bildungsweise des Granulites und weiterhin für die Auffassung gewisser anderer Gesteine für sehr interessant halte.

I.

Fängt man mit der Begehung der Bahnlinie bei der Station Waldkirchen an, so hat man zunächst in den ersten Einschnitten das gleiche Gestein vor sich, das die ganze nördliche Umgebung zu bilden scheint.

Es ist das ein dunkles feinkörniges Gestein, das meist kleine Butzen von Hornblende mit Schwefelkies einschließt. Sehr reichlich wird schon bei Waldkirchen, besonders im Steinbruche des Herrn Penn, dieses dunkle Gestein durchzogen von Gängen eines etwas porphyrischen Granites, der manchmal akzessorisch schon makroskopisch sichtbar auch Braunsparat, Kalkspat, und darin eingelagert einzelne bis 2 cm lange Prismen von Quarz führt. Das dunkle Gestein fällt wohl unter den Begriff des Gumbel'schen Diorites; schon lange wurden Findlinge davon zu Schottern verarbeitet, aber die Eröffnung des Bruches stammt erst aus neuerer Zeit und er ist bei Gumbel noch nicht verzeichnet.

U. d. M. findet man Oligoklas mit viel Orthoklas, Quarz, Biotit zackig gegeneinander und rundlich ineinander verwachsen, besonders die Feldspäte zeigen schön die gegenseit-

tige Störung während der Wachstumsperiode. Die Quarze sind fast immer gerundet und bilden gerne Einschlüsse, nicht selten treten sie auch in granophyrische Verwachsungen ein. Dazu kommt viel grünlich-brauner Biotit, reichlich Nadelchen von Apatit und viele kleine Oktaëder von Magneteisen. Sekundärer Epidot ist allenthalben verstreut. Die Plagioklase haben bei divergentstrahliger Anordnung Neigung zur Bildung von Einsprenglingen, die dann randlich ebenso zackig begrenzt sind; sie gehören dem Oligoklas bis Andesin an. Die makroskopisch sichtbaren dunklen Butzen bestehen aus Anhäufungen von grüner Hornblende; sie finden sich nicht an allen Stellen des Stockes und sind vielleicht zurückzuführen auf kontaktmetamorphe Beeinflussung durch die Granitgänge oder auf Aufnahme fremder Gemengteile.

Die Struktur erinnert in der Kleinheit der Gemengteile zunächst an kataklastische Phänomene. Aber weder die Glimmer noch der Quarz noch auch die größeren Feldspäte zeigen irgendwo Spuren von Schleppung oder undulöser Auslöschung, sodaß hier nur eine primäre und zwar, abgesehen von den Feldspateinsprenglingen und den Glimmern, die panidiomorph-körnige Struktur vorliegt. Das Gestein ist in die Nähe der von Rosenbusch sogenannten Glimmermalchite zu stellen; es fehlt hier die fluidale Anordnung, wie am Melibocus, auch überwiegt der Orthoklas bei weitem, sodaß man hier wohl von Orthoklasmalchit sprechen muß.¹⁾

Die injizierenden Gänge vom Granit sind meist nur fingerstark, werden aber auch größer. Die Durchäderung des malchitischen Gesteines ist so weit gegangen, daß man oft direkt breccienartig die scharf begrenzten Schollen im Granit schwimmen sieht.

Der Granit ist im allgemeinen feinkörnig und ziemlich reich an Biotit; werden aber die Adern schmal, so entwickelt der Granit am Salband gegen den Malchit eine aplitische Grenzfazies und in den ganz feinen Gängen ist der Glimmer überhaupt vollständig verschwunden.

Bei mikroskopischer Betrachtung hat man dann das Bild eines porphyrischen Granitaplit mit viel Mikroklin, etwas Oligoklas, dann Orthoklas und Quarz. Myrmekite sitzen para-

¹⁾ Ich ziehe diesen Namen der Bezeichnung Biotitaplit von Andrae vor, weil er viel prägnanter ist.

sitenähnlich an den eingebuchteten Rändern der größeren Feldspäte. Die größeren Quarze sind stets in mehrere Trümmer zerbrochen, auch einzelne größere Feldspäte haben dieses Schicksal gehabt. Da sich nirgends Spuren von Pressung in den Gesteinen der Gegend nachweisen lassen, muß diese Tatsache als ein Beweis für die Existenz der von mancher Seite noch bestrittenen Protoklase angesehen werden.

Die aplitische Randfazies um die eckigen Einschlüsse ist natürlich nichts Neues; immerhin gibt sie einen Fingerzeig für das Verständnis der Tatsache, daß die durch Injektion entstehenden Mischgesteine stets nur aplitische Schnüre führen, sofern die granitischen Adern nicht gar zu mächtig werden.

Verfolgt man das Profil von Waldkirchen ausgehend weiter, so werden die granitischen Gänge immer mächtiger und schließlich sieht man nur mehr kugelig ausgewitterte Formen des Malchites mit etwa 1 m Durchmesser aus dem Granite herausragen. Bei Erlauzwiesel besteht aber eine derartige Kugel aus unfrischem, etwas schieferigem Hornblende-gabbro (gabbroides Gestein aus Labradorit, farblosem, monoklinem Augit und brauner Hornblende zusammengesetzt, welche letztere immer enge mit dem Pyroxen verwachsen ist).

Hinter der Reichermühle ändert sich das Bild. Nun beginnen mittelkörnige helle Gesteine, meist frei von dunklen Gemengteilen, dafür aber Granaten in zunehmender Menge führend. Vielfach treten kleine dunkle Schlieren, manchmal auch eckige Schollen in ihnen auf; Gänge (oder Schlieren?) von feinerem und größerem Granit dringen gelegentlich in das Ganze ein.

Den schönsten Aufschluß gewährt der Bahneinschnitt am Spitzenberg, nordöstlich von Jandelsbrunn.

Hier sieht man in bunter Mannigfaltigkeit schlierig durcheinander gemengt in den obengenannten leukokraten Granatgesteinen glimmerreichere Lagen ohne scharfe Grenze, die an die schieferigen Cordieritgneisse von Bodenmais erinnern. An anderen Stellen mischen sich in das Gemenge dichte dunkle Gesteine, in deren Umgebung dann der Granat ziemlich selten

wird; diese dunklen Partien sind eckig oder auch gerundet, oft durch einen eigenen Biotithof von ihrer Umgebung getrennt; anderswo werden sie lang ausgezogen und geschwänzt. An anderer Stelle treten streifige Bildungen auf, die an Flaser-gabbro erinnern. Auch einzelne Gänge oder Schlieren von feinkörnigem Granit stellen sich ein.

Untersucht man nun zunächst mikroskopisch die glimmerfreien, nur Granat bis zu Haselnußgröße führenden Varietäten, so bestehen sie vorherrschend aus Plagioklasen (Andesin und Oligoklas), eingebettet in Quarz. In den Feldspäten viel sekundärer Muskovit, oft Büschel bildend, ferner reichlich rundliche Körner von Quarz als Einschlüsse (structure granulitique). Die Grenzen der Feldspäte gegen die Quarze sind meist scharf (Taf. I Fig. 1) und gerade; aber vielfach sendet der Quarz auch runde oder warzige Ausläufer in die Feldspäte hinein (Taf. I Fig. 2). Der Quarz, mit Ausnahme der schon genannten granulitischen Einschlußbildungen als letzte Ausfüllung stets allotriomorph, hat stark undulöse Auslöschung und die einzelnen Körner sind wieder umgeben von einem feinkörnigen Hofe meist zackig ineinander verflizter kleinster Quarzaggregate (Taf. II Fig. 3). Die Struktur ist demnach zunächst granulitisch, dann aber auch hypidiomorph-körnig; von den kleinsten Quarzkörnern ist es fraglich, ob sie in ihrem verzackten Gefüge nur an Mörtelstruktur und nicht auch an malchitischen Bau erinnern.¹⁾ — Orthoklas fehlt vollständig. Die Granaten finden sich als größere gerundete Einsprenglinge an Feldspat sowie an Quarz angrenzend; meist sind sie randlich und auf den Rissen begleitet von schwach pleochroitischem Biotit und Chlorit mit pleochroitischen Höfen und kleinen Zirkonen, die auch isoliert in den Feldspäten auftreten. In den chloritischen Partien gesellt sich auch Schwefelkies bei, ferner manchmal gelbe quadratische, stark lichtbrechende Kristalldurchschnitte; letztere zeigen feine Zwillingslamellen parallel der Begrenzung, wie sie Lasaulx vom Rutil beschrieben hat, und gehören sicher diesem Mineral an. Als Einschlüsse in Granat: Biotit, Zirkon und seltener auch runde Körner von Quarz.

In glimmerreicheren Modifikationen ist es wesentlich Biotit, der sich in Butzen und Schlieren einigermaßen beim Aufbau

¹⁾ Man vgl. diesbezüglich die Ausführungen von Uhlig (Zeitschr. D. G. G. 1907, p. 35), wo auch einschlägige Beobachtungen von Bonney und Geikie zitiert sind.

beteiligt. Muskovit ist nicht ganz selten, aber wohl stets sekundär aus Feldspat (Cordierit?) und aus Biotit. Hier gesellt sich auch mehr Orthoklas bei, teils in wenigen größeren Individuen zwischen die Plagioklase gedrängt, teils als diffuse Flecken im Plagioklas, teils endlich auch in granophyrischen Verwachsungen mit Quarz, welcher auch rundliche Partien in den Andesinen bildet. Trotz der vielfach ungleichen Auslöschung ist deutlich kennbar, daß die Quarze auch in ihrem oft gewundenen Verlaufe um die Feldspäte herum einheitliche Individuen sind. — Die Struktur ist also wesentlich hypidiomorph, aber die rundlichen Myrmekite und Quarze in den Andesinen deuten zugleich auf panidiomorphe oder granulitische Ausbildung. — Die zahlreichen Granaten sind sehr klein, mit freiem Auge nur schwer zu sehen; sie sind stets mit dem Biotit verknüpft, ebenso wie die kleinen Erzpartikeln sich fast nur im Inneren und auch auf den Rändern der Glimmer finden.

Bei anderen helleren Typen, welche etwas schlierige dunkle Partien einschließen, ist mikroskopisch der Biotit vertreten durch schlecht begrenzte grüne Hornblende, deren randliche Entstehung aus farblosem Pyroxen erfolgt ist; daneben ist idiomorpher Titanit, ferner sekundärer Chlorit und Epidot vorhanden. Zu dem herrschenden Andesin tritt sehr wenig Mikroklin; Orthoklas höchstens in Form von perthitischen Flecken im Andesin. Der Quarz ist wieder letzte Ausfüllung, hat Mikrolithen von Rutil(?) und in den feinsten Umrandungspartien wieder den verzahnten Bau der Quarzkörnchen, von dem es zweifelhaft bleibt, ob er primären oder sekundären Ursprunges ist. Runde Quarzeinschlüsse sind in den Feldspäten sehr häufig, die Struktur ist also die nämliche wie oben.

Dichtere, glimmerreiche Schlieren zeigen im Dünnschliff einen Aufbau aus monoklinem Augit und Biotit, dazu Oligoklas und Andesin, etwas Labradorit scheint sich einzustellen (1 a Auslöschung 25°); Orthoklas und Mikroklin fehlen; Quarz als letzte Ausscheidung und auch wieder in gerundeten Körnern als Einschlüsse im Feldspat. — Diese dichten dunklen Augit und Biotit führenden Varietäten treten in rundlichen Butzen und in faserigen an Bändergabbro erinnernden Partien innerhalb der granatführenden Zonen auf, wobei die streifigen Formen sicher durch primäre Druckphänomene vor der Erstarrung aus den runden sich herausgebildet haben, weil außer seltener ungleicher Auslöschung keine Spur von Kataklasten nachweisbar ist.

Weiter zu den ganz dichten dunklen Flecken und oft aus-

geschweiften Schlieren, welche manchmal randlich Biotit um sich angehäuft haben, und ähnlich wie der Pyroxengranulit für das freie Auge keinen einzigen Gemengteil mehr hervortreten lassen. Sie haben neben farblosen rhombischen Pyroxenen auch farblose monokline mit $c:c = 43^{\circ}$, letztere oft mit den stäbchenförmigen, offensichtlich aus Erz bestehenden Interpositionen und den feinen Lamellen des Diallages; eine farblose, nicht pleochroitische Umsäumung der monoklinen Augite hat schwächere Doppelbrechung und gehört wahrscheinlich einem rhombischen Pyroxen an. Diese Pyroxene liegen in typischer Gabbrostruktur zwischen Plagioklasen, meistens Anorthit mit relativ wenig Zwillinglamellen. Die Feldspäte führen nun wieder massenhaft eiförmige Einschlüsse, nicht von Quarz, sondern von einem Feldspat, der stets höhere Lichtbrechung hat als Kanadabalsam und keine Zwillingbildungen zeigt; er ist nicht näher zu bestimmen. Ein wenig Erz und Spuren von Biotit vervollständigen das Bild.

Und nun noch zu dem feinkörnigen Granite, der am Südwesteingang des Einschnittes auftritt, ob gang- oder schlierenförmig, ist nicht zu entscheiden. Es ist ein Zweiglimmergranit mit aplitischer panidiomorpher Struktur; auch länglich gestreckte Feldspäte sind ganz myrmekitisch von Quarz durchwachsen; es sind vorherrschend Mikroklin und Orthoklas, dazu etwas Oligoklas und Oligoklas-Albit (Ca — Gehalt nach Analyse von Dr. Hoppe $1.78^{\circ}/_{\circ}$).

Überblickt man nun die ganze Reihe von verschiedenen Gesteinsarten, welche größtenteils schlierig miteinander verknüpft sind (nur zu den Orthoklasmalchiten ist der Zusammenhang nicht aufgeschlossen), so wird man schon aus der Art ihrer Verknüpfung allein nur den Schluß ziehen können, daß es sich hier um magmatische Differenzierungsprodukte handelt.

Weiter wird das begründet durch die Struktur. Wohl könnte man bei den granat- und glimmerreichen schlierigen Gesteinen makroskopisch etwa an Gneisse denken oder auch sonst manchmal an kristalline Schiefer der Tiefenstufe, die in der Regel keine oder nur geringe Schieferung aufweisen. Allein aus den mikroskopischen Befunden geht klar hervor, daß es sich hier nirgends um kristalloblastische, sondern um stets echte

Tiefengesteinsstrukturen handelt, um hypidiomorphe bei den granitischen und dioritischen Gesteinen, um Gabbrostruktur bei den ganz dichten gabbroiden Varietäten.

Aber Eines ist bei diesen Strukturen auffällig: daß stets zu gleicher Zeit Anzeichen von mehr oder minder bestimmender Art für eine gleichzeitige Auskristallisation einzelner Komponenten gegeben sind. Mag man die daraus resultierende Struktur panidiomorph-körnig oder malchitisch oder aplitisch oder granulitisch nennen, immer ist es dieselbe Erscheinung, daß Gemengteile, die gemäß den bekannten Ausscheidungsgesetzen erst viel später ihre Kristallisation hätten beginnen sollen, mit der Erstarrung zum Teil schon früher oder mindestens gleichzeitig mit anderen Komponenten einsetzten, deren Ausscheidungsbeginn gemäß ihrer chemischen Zusammensetzung vor ihre fällt.

Diese beiden Arten der Struktur, die regelmäßige sowohl wie die unregelmäßige, sind nun in ihrem Zusammenbestehen bei all den vorher beschriebenen Gesteinen Anzeichen genug dafür, daß alle einem gemeinsamen Schmelzflusse entstammen, weil ja die physikalischen Bedingungen bei der Abkühlung die gleichen gewesen sein müssen.

Ich stehe nun nicht an, das räumlich am weitesten verbreitete, im ganzen leukokrate granatführende Gestein als Granulit zu bezeichnen, und zwar wesentlich auch wegen seiner structure granulitique. Daß es entgegen allen sonstigen Definitionen von Granulit oft keinen Alkalifeldspat enthält, macht das Vorkommen nur um so interessanter. Ich nenne es darum Dioritgranulit, und es steht genau in dem gleichen Verhältnis zum Diorit wie der gewöhnliche Granulit zum Granit, d. h. es ist nur eine bestimmte Modifikation des normalen Gesteinstypus.

Wir haben demnach eine fast lückenlose Reihe von Differenzierungspunkten aus dem gleichen Schmelzflusse: Zweiglimmergranit, Orthoklasmalchit, Quarzdiorit in der Fazies des Dioritgranulites, dann Quarz-Augitdiorit und endlich Anorthitnorit.

Da die Alkalifeldspäte wenigstens in Spuren noch bis zum Augitdiorit herunterreichen, entsprechen diese Gesteine so ziemlich den Mangeriten von Rosenbusch und es ist sehr interessant, daß er in seiner Reihe Charnockit-Mangerit-Anorthosit gleichfalls einen granatführenden, also anormalen Vertreter hat, nur ist es dort der Granit und hier der Diorit, der in einer besonderen Fazies auftritt. Obgleich nun hier kein Anorthosit vorhanden ist, so zögere ich doch nicht, meine Gesteine seiner obigen Reihe anzugliedern, der sie ja im allgemeinen wenigstens ganz gut entsprechen.

II.

Seit man den Granulit auch aus anderen Gegenden kennen lernte, als aus dem sächsischen Granulitgebirge, so aus Ceylon und Ostindien, ferner aus Böhmen, ist man allmählich zu der Ansicht gekommen, daß in diesem Gesteine nicht bloß ein kristalliner Schiefer vorliegen könne, auf sedimentärer Basis entstanden, sondern daß es ein Eruptivgebilde darstelle, dessen besondere Eigenheit (Granatführung etc.) man noch verschieden erklärt. Besonders die Führung von Cyanit, Rutil, Sillimanit wird von einer Seite auf Wirkungen von Dynamometamorphose zurückgeführt; auf der anderen Seite ist besonders Lepsius (Geol. v. Deutschl. 1902) dafür eingetreten, daß die Granaten und damit wahrscheinlich auch die übrigen seltsamen Gemengteile im Granulit nichts anderes darstellen als umgeschmolzene Reste assimilierter Sedimentbrocken. Er geht sogar so weit, die Flaser-gabbro des sächsischen Granulitgebirges als auf diese Weise umgewandelte Diabase oder deren Tuffe zu betrachten. Petrographische Beweise für seine Ansichten hat Lepsius nicht erbracht.

Nun glaube ich aber aus meinen Funden petrographisch ziemlich beweiskräftige Argumente dafür liefern zu können, daß in der Tat die Granaten nichts anderes sind, als in dieser Form abgeschiedene oder ausgeschiedene metamorphe Sedimentreste.

Um den Zusammenhang zwischen den verschiedenen Dif-

ferenzierungsprodukten eines, wie ich glaube, einheitlichen Magmas möglichst klar zu stellen, habe ich bisher absichtlich aus dem Aufschlusse am *Spitzenberg* eine gleichfalls schlierige Abart, welche für das freie Auge aussieht wie ein Granatglimmergneis, nicht erwähnt.

U. d. M. sieht man nun, daß die hellen Lagen genau die mineralogische Zusammensetzung und die Struktur der früher beschriebenen Dioritgranulite haben. Die dunklen Lagen werden von Biotit beherrscht; dieser sammelt sich nicht nur um die Granaten an, sondern von ihnen ausgehend greift er zwischen die Feldspäte hinaus und umklammert sie (Taf. II Fig. 4), sodaß man den Eindruck gewinnt, die Feldspäte hätten wie Fremdkörper als Anziehungszentren für die Glimmeraggregate gewirkt.¹⁾ Eine Radialstellung der Glimmerblättchen ist ja bei ihrer hohen Elastizität natürlich nicht denkbar. Dabei sind absolut keine Pressungserscheinungen nachzuweisen, welche etwa nachträglich den Glimmer um die Feldspäte herumgelegt hätten. Das Ganze ist demnach eine primäre Strukturform, wonach die Glimmer und die Feldspäte sich ursprünglich fremd gegenüber standen, und erst nach der völligen Auskristallisation der Feldspatindividuen die Ausscheidung und damit die Orientierung der Glimmer rings um die Feldspäte herum erfolgte, gerade wie wenn die Feldspäte die Einsprenglinge und die Biotite eine Grundmasse bilden sollten. Das ist also eine Umkehrung der normalen Ausscheidungsfolge, ohne daß Porphyrystruktur hier vorhanden wäre. Diese Änderung in der Ausscheidungsfolge kann nur durch besondere Faktoren bewirkt worden sein: sie ist nur denkbar so, daß zwei verschiedene Komponentenreihen vor der Erstarrung einander gegenüber bestanden, nämlich einerseits der Feldspat und der Quarz, andererseits der Granat und Biotit, welch letztere also wohl nur aus fremden Substanzen, die in den Schmelzfluß geraten waren und sich dort nach der Zerstückelung durch Untersinken ausbreiteten, herausgebildet haben können; der Glimmer ging mit den Feldspäten diese im wörtlichen Sinne verzwickte strukturelle Verbindung ein, die man sogar makroskopisch am Handstück sehen kann. — Als weiteres Moment wäre noch anzuführen, daß das Erz stets saumförmig die einzelnen Glim-

¹⁾ Das erinnert sehr an die „durchflochtene Textur“ Becke's (T. M. P. M. IV, p. 257).

merblättchen umfaßt, also wohl später ausgebildet wurde als die Glimmer; denn von einer sekundären Entstehung des Erzes aus dem Glimmer kann bei der völligen Frische des letzteren nicht die Rede sein.¹⁾

Sollte man trotz dieser merkwürdigen Texturverhältnisse, die also ganz ähnlich sind denen, wie ich sie, als für die Auffassung gewisser Pfahlgesteine wichtig, seinerzeit schon beschrieben habe (Studien an den Pfahlschiefern, Geogn. Jhrsh. 1909) die Mischung mit fremden, wohl sedimentären Materiale in den Granuliten noch nicht zugeben, so liefert dieser kleine

¹⁾ Ich war, offen gesagt, erst im Zweifel, ob ich diese Art von Gesteinen nicht auch nach ihrer mikroskopischen Struktur einfach unter die Cordierit-Granatgneiße einreihen solle, wie Gumbel das zweifellos getan hätte. Vor allem diese Verbindung von hypidiomorph-körniger und gleichzeitig panidiomorph-körniger Struktur findet sich andeutungsweise auch in gewissen Gesteinen, die man zurzeit sämtlich als Gneiße bezeichnet, z. B. im Schwarzwalde. Auch ist das Verhalten der dunklen Gemengteile merkwürdig: Biotit ist durch Feldspat beeinflusst, wäre also wohl wesentlich nach ihm erst gebildet, Erz hat sich erst an den Saum der ganz frischen Biotite geheftet; dagegen entspricht die Ausscheidungsfolge der hellen Gemengteile unter sich sehr gut einer Erstarrung aus Schmelzfluß. Aber im ganzen genommen sind das doch Verhältnisse, welche einer Ausscheidung aus gewöhnlichem Magma unbedingt widersprechen und daher anders erklärt werden müssen. Ich habe das oben, wie ich glaube, zur Genüge aufgeklärt und kann mich unmöglich zu der Ansicht bekennen, daß hier eine sogen. kristalloblastische Reihe, d. h. ein kristalliner Schiefer vorliege, und zwar aus Gründen, die wohl unwiderleglich sind. Das ist wesentlich das Verhalten dieses merkwürdigen Gesteines zu den anderen meist dunkleren Abarten: wohl ist es vielfach schwierig mit ihnen verknüpft, aber stellenweise sind die dunklen Massen von dioritischer und gabbroider Zusammensetzung auch in scharf begrenzten Putzen und schmalen eckigen Schollen bis zu 40 cm Länge darin eingeschlossen; ja gegen einen etwa 10 cm dicken Gabbroputzen wurde sogar ein Biotitring als endogenes Kontaktprodukt ausgebildet! Aus dem geologischen Verbande geht also unzweifelhaft hervor, daß dieses das Verhalten eines echten Erstarrungsgesteines ist.

Ob das nicht auch von anderen Gesteinen gilt, die man bisher schlankweg als Granat- oder Cordieritgneiße bezeichnet hat, ob nicht auch diese quantitativ viel mehr Ortho- als Paragesteine sind, läßt sich noch nicht absehen; mir wenigstens verursachen die Gesteine bei Bodenmais bezüglich ihrer Deutung immer noch einige Schwierigkeiten.

Aufschluß im Böhmerwalde noch ein weiteres Wahrscheinlichkeitsmoment: Die eben beschriebenen glimmerreichen Varietäten dieses granatführenden Gesteines enthalten nämlich auch noch allotriomorphen Cordierit, meist an Granat gebunden, vielfach auch mit Quarz myrmekitisch durchwachsen. Daß der Cordierit hier ein echtes Kontaktmineral darstellt, wird wohl kaum zweifelhaft sein, zumal da die siebartige Durchwachsung mit Quarz bisher nur aus echten Hornfelsen bekannt geworden ist. Dann spricht aber doch zum mindesten eine große Wahrscheinlichkeit dafür, daß auch der Granat, der doch sonst sogar als häufigstes Kontaktprodukt auftritt, in diesen Granuliten keinen ursprünglich autigenen Gemengteil darstellt. Und wenn der Granat und der Cordierit als Umwandlungsprodukte in den Hornfelsen keiner Beimengung eruptiven Materiales zu ihrer Bildung bedürfen, so wird auch zur Erklärung ihres Auftretens im Granulite ein derartige Beihilfe nicht angenommen werden müssen.

Nun kennt man allerdings aus dem sächsischen Granulitgebirge Cordieritkontaktfelse, die z. B. bei Rochsburg dem Granulite zungenartig an- und auflagern. Aber im dortigen Granulitgesteine selbst, ferne von einer solchen Kontaktstelle, hat man, soweit ich die Literatur übersehe, Cordierit mikroskopisch noch niemals gefunden.

Nach meinen neuen Funden wird man also wohl sich der Annahme nicht verschließen können, daß zwischen dem randlichen Kontaktfelse und dem eigentlichen Granulite nur Unterschiede bestehen im quantitativen Verhältnisse der Gesteinskomponenten,¹⁾ daß es also eigentlich eine kontinuierliche Reihe von Übergängen zwischen beiden geben muß; oder umgekehrt ausgedrückt: ebenso wie Partien aller Kontakthöfe stets deutliche Mengen aus dem innelagernden Eruptivgesteine in sich fassen, seien es größere oder kleinere, oft mikroskopische Gänge, oder seien es Mineralien wie Turmalin, oder chemische Stoffe wie das Natrium in den Adinolen, so fassen wenigstens

¹⁾ Auch der Gehalt an Granat ist sehr schwankend bis zum völligen Fehlen.

die granulitischen Magmen noch letzte Reste der Sedimente in sich, in welche sie zertrümmernd eindringen; die kleinen Bruchstücke sanken im Schmelzflusse unter, und wurden umkristallisiert in Form teils echter Kontaktminerale wie Granat, Cordierit und Biotit, teils als Relikte aus den alten Tonschiefern, wie Rutil, im erstarrenden Eruptivgesteine selbst ausgeschieden. Daher stammen auch die eigentümlichen Verbandsverhältnisse der granulitischen Gesteinskomponenten untereinander. —

So glaube ich durch die neuen Aufschlüsse im Böhmerwalde auch den früher fehlenden petrographischen Beweis geliefert zu haben, daß granulitische Gesteine sich nur durch innige Vermengung mit fremdem, meist wahrscheinlich sedimentärem Materiale herausbilden können, und zwar geht das hervor 1. aus dem Auftreten eines neuen Kontaktminerales neben dem Granate, nämlich des Cordierites, wobei wegen der echten Massengesteinsstruktur an kristalline Schiefer oder Kontakthornfelse nicht zu denken ist, 2. aus den eigentümlichen Verbandsverhältnissen der Gesteinsgemengteile, 3. aus der bisher unbekannten Möglichkeit der Granulitbildung auch aus einem ursprünglich dioritischen Schmelzflusse.

Aber ich kann nicht soweit gehen, wie Lepsius, der Alles durch Kontaktmetamorphose entstanden erklärt, und die Dynamometamorphose vollständig leugnet (Geol. v. Deuschl. II p. 171, Fußnote). Im sächsischen Granulitgebiete hat wohl auch Dynamometamorphose mitgewirkt, aber erst nach der Verfestigung, und Berg (Monatsber. D. G. G. 1910, Nr. 4) u. A. haben, wie ich glaube, teilweise recht, wenn sie Umformung und Kristallneubildung auf Rechnung von Kristallisationsschieferung setzen. So erklärt sich vielleicht das dortige Auftreten des Cyanites, der am Spitzenberg, wo keine nachträgliche Störung stattfand, bisher nicht gefunden wurde; Sillimanit stammt wahrscheinlich meistens neben Muskovit aus zeretztem Cordierit.

Auch die Gabbros als umgewandelte Diabase oder deren Tuffe zu erklären, wie Lepsius das tut, ist mir nicht möglich; denn 1. bietet sich nirgends eine Spur eines petrographischen Beleges dafür, und 2. sprechen im Böhmerwalde die geologischen Verhältnisse sogar direkt dagegen; denn aus der weiten Umgebung kennt man überhaupt keinen Diabas, wohl aber Gabbros in Menge.

III.

Überblickt man die Verhältnisse der aus der Eruptivmasse einerseits und der vom Nebengestein andererseits abstammenden Komponenten des Granulites, so ergeben sich interessante Beziehungen und Folgerungen.

Es drängt sich die Frage auf: welchen Einfluß äußern fremde Massen von Nebengestein, welche in engere Beziehung mit dem Erstarrungsgesteine treten, auf die chemische Zusammensetzung des letzteren?

Hier sind wesentlich einschlägig Hypothesen, wie sie z. B. von Johnston-Lavis (Geol. Mag. 1894 und Report of Brit. Assoc. 1896) und von R. A. Daly (Secondary origin of certain granites, Am. Journ. 1905) bezüglich der Entstehung von Gesteinsdifferenzierungen aufgestellt worden sind.

Nach dem ersteren Autor soll ein Eruptivgestein beim Aufdringen durch basische Sedimente aus diesen besonders Magnesium und Kalk aufnehmen, während es Kieselsäure, Tonerde und Alkalien an sie abgebe („osmotische Hypothese“); so seien besonders die basischen Grenzfaziesbildungen der Tiefengesteine entstanden zu denken, wie z. B. des Essexites im Kirchenspiel Gran. C. W. Broegger (Eruptivgest. d. Kristianiageb. III, p. 348) hat diese Erklärung für die norwegischen Vorkommnisse widerlegt.

Daly glaubt andernteils gezeigt zu haben, daß Granit aus nichtgranitischen Schmelzflüssen durch Assimilation eingeschmolzener Sedimente, etwa von Sandstein, entstehen könne.

In beiden Fällen muß notwendig eine vollständige Verdauung des Nebengesteines angenommen werden, und die Mi-

neralien, die sich dann aus dem Schmelzflusse ausscheiden, müssen unbedingt der durch die Einschmelzung veränderten chemischen Zusammensetzung des Eruptivgesteines entsprechen.

Nun finden wir hier bei den Granuliten relativ winzige Reste des Nebengesteines in einer verhältnismäßig großen Menge eruptiven Materiales ausgestreut. Die Angriffsfläche für den Schmelzfluß in dem oben angedeuteten Sinne eines Austausches wäre also sehr groß gewesen. Ist nun ein solcher erfolgt?

Diese Frage muß hier wohl entschieden verneint werden; denn einmal bilden sich anerkanntermaßen Granat und Cordierit allenthalben im Kontaktgestein, ohne daß bis jetzt die geringste Wahrscheinlichkeit vorliegt, daß Substanzzufuhr aus dem Schmelzflusse dabei mitgewirkt habe. Nach allgemeiner Annahme sind diese Kontaktminerale aus den chemischen Verbindungsmöglichkeiten, die in der Art der Zusammensetzung des Nebengesteines allein begründet waren, durch Umkrystallisation herausgebildet worden. Und weiterhin sind im Verhältnisse hier die Granaten und Cordierite so wenig zahlreich, daß man sich bei der großen Angriffsfläche gegenüber dem Magma wundern müßte, daß sie nicht einfach vollständig assimiliert wurden, wobei dann nur eine größere allgemeine Basizität des Gesteines von ihrer einstigen Existenz eventuell zeugen könnte.

Aber wie steht es mit dieser Basizität? Vergleicht man die Analysen bei Rosenbusch (Elem. 1910), so ergibt sich daß die Granulite in der Regel saurer sind, als die normalen Granite, sich sogar den Apliten bedeutend nähern, daß also trotz der darin enthaltenen Granaten eine Zufuhr von Tonerde, Kalk oder Magnesium auf keinen Fall stattgefunden hat. Im Gegenteil sind sie meist ärmer an Ca und Mg.

Eher würde an Aufnahme von Kieselsäure aus dem Nebengesteine zu denken sein, im Sinne der Annahme von Daly; aber hiefür gibt es eine, wie ich glaube, viel annehmbarere Erklärung, wie ich im Folgenden ausführen will.

Die Granulite liefern demnach trotz der günstigen Mischungsverhältnisse für die Annahme magmatischer

Differenzierung infolge von Assimilation fremder Nebengesteine nicht nur keine Stütze, sondern sprechen sogar direkt entgegen.

Die schon erwähnte größere Azidität der Granulite, das stärkere Zurücktreten von Ca und Mg im Verhältnisse zu Granit und Quarzdiorit, von denen sie sich herleiten müssen, erklärt sich dadurch, daß diese Massengesteine in das Gemenge mit Granat, Cordierit etc. immer nur verstümmelt eingetreten sind, es ist eigentlich stets nur ihr aplitisches Radikal, was zum Aufbau verwendet wurde. Das trifft aber nicht nur für die Granulite zu, sondern überall da, wo saures eruptives Magma in innige Berührung mit fremdem Gesteine getreten ist, sofern dieses, etwa infolge von Aufblätterung, eine sehr große Oberfläche bot, wie bei den injizierten Schiefen; denn deren eruptive Adern weisen, wenn sie nicht zu mächtig werden, ohne Ausnahme aplitische Zusammensetzung ohne dunkle Gemengteile auf.

Diese merkwürdige Erscheinung läßt sich zunächst so erklären, daß zwischen beiden Gesteinsarten eine Art Austausch eingetreten ist, wobei Basisches zu Basischem und Sauerer zu Sauerem sich gesellt hätte: also eine Art osmotischen Vorganges, aber in etwas anderer Form als bei Johnston-Lavis. Ich habe für die Bildung gewisser Pfahlgesteine diese Erklärung angenommen, und es hat mich sehr gefreut, daß Herr Ch. Barrois gelegentlich einer Exkursion bei Stockholm im Sommer 1910 mir mitteilte, wenn ich ihn recht verstanden habe, daß er schon seit Jahren die gleiche Ansicht habe.

Bei den Pfahlgesteinen war aber neben den Feldspäten und Quarzen nur Glimmer vorhanden, und es war dadurch schwer, wenn nicht unmöglich, zu sagen, wieviel von dem Glimmer aus dem Granite oder aus dem Nebengesteine stammte. Hier liegen die Verhältnisse aber anders: Granat, Cordierit, Biotit stammen alle aus dem fremden Nebengesteine, folglich kann obige Erklärung nicht mehr genügen.

Es ist also bei Granulit sowohl wie bei den injizierten Mischgesteinen stets zur Bildung von aplitischer Randfazies

schon im Schmelzflusse gekommen, worin also entgegen dem Soretschen Prinzipie die saueren Komponenten sich an der Peripherie angesammelt haben, die basischen aber in das Innere sich zurückzogen und dort, wo sie ferne von der Berührung mit fremden Gemengteilen sich ungestört entwickeln konnten, Anlaß zur Ausbildung mehr oder minder basischer Gesteinsvarietäten gaben. So würde sich auch das Auftreten des Gabbros innerhalb des Bereiches der Granulite besser erklären, als durch Umwandlung von Diabastuffen.

Bei der Bildung dieser aplitischen Randzone müssen demnach andere Kräfte mitgewirkt haben, als die Abkühlung bei dem Soretschen Prinzipie. Es liegt hier nahe, an elektrische Kräfte zu denken, wiewohl wir darüber eigentlich noch gar nichts wissen. Ich stelle mir die Sache so vor: die Fe- und Al-reichen Bestandmassen in dem fremden Nebengesteine sind chemisch ungefähr gleich zusammengesetzt wie die farbigen Gemengteile im Eruptivgesteine; bei den wenn auch schwachen elektrischen Strömungen, die sich zwischen dem schmelzflüssigen Magma und der kälteren Umgebung notwendig entwickeln müssen, erhalten chemisch gleich zusammengesetzte Körper auch gleichsinnige elektrische Ladung, folglich stoßen sie einander ab, d. h. das basischere Nebengestein wird in seiner Nähe die helleren saueren Gemengteile des Schmelzflusses ansammeln. Das ist vielleicht physikalisch etwas roh erklärt, die Vorgänge werden wohl kompliziertere sein, aber die Gesamtauffassung wird sich doch vielleicht nur wenig von der Wahrheit entfernen.

Damit wäre also die Art der Bildung einer abnormen Randfazies ihrer chemischen Zusammensetzung nach nicht bloß mit der physikalischen Bedingung der Abkühlungsfläche in Verbindung gebracht, sondern vielmehr mit der jeweiligen chemischen Zusammensetzung des Nebengesteines und den elektrischen und magnetischen Strömungen, welche daraus resultieren.¹⁾

¹⁾ Es wäre von Interesse, diese Erscheinung längs eines Kontaktes, der sehr verschiedenartige Gesteine getroffen hat, chemisch zu verfolgen

Es scheint aber sicher, daß die auf diesem Wege entstehenden saueren Randfaziesbildungen niemals die Mächtigkeit von basischen Randzonen erreichen. Es ist also eine sehr innige Berührung, d. h. eine große Oberflächenwirkung nötig, um einigermaßen ausgedehntere aplitische Differenzierungsprodukte hervorzubringen und diese ist nur gegeben bei der Aufblätterung und Injektion von Schiefern, oder bei der reichlichen Aufnahme von fremden, wenn auch kleinen, Bruchstücken wie bei Granulit.

Bei der Einbettung fremder Einschlüsse in ganz basischen Gesteinen, wie in gewissen Peridotiten, scheinen sich die Verhältnisse umzukehren. Hier wirkt das gewissermaßen intermediäre Nebengestein sozusagen als saurerer Pol. Daher sammeln sich dann z. B. um Granat stets Pyroxene und Amphibole an und bewirken jene bekannten zentrischen Strukturformen. —

So lange man die Kristallisationsvorgänge in quartären und noch mehr zusammengesetzten Systemen nicht genügend kennt, wird man jede einigermaßen plausible Hypothese für Differenzierung etc. annehmen können. Und selbst dann wird ja bei der Unzulänglichkeit der Laboratoriumsresultate dem Zweifel noch stets Tür und Tor offen bleiben.

IV.

Es liegt nahe, die bei dem Granulite gewonnenen Erfahrungen zu verallgemeinern, und einen Überblick zu suchen über alle Formen von Eruptivgesteinen, soweit fremde Beimischungen in ihnen schon erkannt sind oder auch nach Analogieschlüssen angenommen werden können. Selbstverständlich sind es nicht mehr bloß Granat, Cordierit und Biotit, die hier als Fremdkörper figurieren können, sondern als solche sind schon längst auch Quarz, Andalusit, Spinell, Wol-

und damit eine Probe aufs Exempel zu machen; weiterhin entsteht die Frage, ob etwa ein Einfluß der verschiedenen Bestandteile des Nebengesteines auf die Breite des aplitischen Hofes nachgewiesen werden kann.

lastonit, Kalkspat und Pyroxen u. s. w. bekannt geworden. Von anderen bisher nicht dafür angesehenen Mineralien hoffe ich das am Schlusse meiner Ausführungen mindestens wahrscheinlich gemacht zu haben.

Bei manchen Ergußgesteinen liegen diesbezüglich die Verhältnisse schon hinreichend klar. Seit Szabó Granat und Cordierit aus ungarischen Trachyten (N. I. B. B. 1881), und besonders Osann Cordierit aus gewissen Andesiten (Z. D. G. G. 1888) beschrieben haben (viele derartige Vorkommen noch zitiert bei Rosenbusch II, 2, 1052), hat sich stets die Ansicht erhalten, daß hier fremdes Material dem Schmelzflusse zugeführt worden sei. Die beiden zitierten Arbeiten liefern nun für diese Anschauung wichtige Details. Weil z. B. der Granat im Trachyte von Karancs Gemengteile des Trachytes selbst einschließt, meint Szabó, er allein könne nicht fremden Ursprunges sein, sondern das ganze Gestein sei metamorph. Derartige Einschlüsse sind aber im Granat allenthalben bekannt und erklären sich leicht durch seine bekannt starke Kristallisationskraft, die leicht zur Bildung von Perimorphosen führt, wohl dadurch, daß mehrere kleine Granäthen während ihres Wachstums zu einem größeren Individuum verschmelzen; daher stammt vielleicht auch die so oft nachweisbare sphärische und Sektorenstruktur der Granaten. — Osann will nur für junge Ergußgesteine und für den Kersantit vom Michaelstein im Harz die Cordierite aus akzessorischen Bestandmassen herleiten; „in den Graniten, welche Cordierit führen, hat dieser meist die Form unregelmäßiger Körner und dürfte ein normaler Gesteinsgemengteil sein“. — Ich hoffe es an dem neuen Granulitvorkommen vom Spitzenberg klar gemacht zu haben, daß auch derartige Cordierite aus dem Nebengesteine stammen, wenn sie auch im Schmelzflusse umkristallisiert worden sind. Näheres hierüber später. —

Über die längst bekannten Fremdlingsquarze in gewissen Trachyten und Diabasen (Rosenbusch, p. 902) ist nichts weiter zu sagen. Anders ist es wieder mit dem Auftreten des Andalusites in gewissen Graniten. Erdmannsdörffer

(Petrogr. Mitt. aus dem Harz, Jahrb. K. Pr. geol. Landesanst. 1908, II, 1) hat die diesbezügliche Literatur zusammengetragen. Rosenbusch hält diesen Gemengteil im Granit für normal; dagegen betrachten K. Regelmann, Gäbert, Ransome, Milch und, wie es scheint, auch Erdmannsdörffer derartige Andalusite wie auch Granate im Granite als Endprodukte der Kontaktmetamorphose winziger aufgenommener Schieferstäubchen. Interessant ist dabei wieder, daß dann der Granit entweder direkt aplitisch (Gäbert) oder wenigstens Muskowitgranit ist, während die Granitite davon frei sind. —

Von anderen Tiefengesteinen sind es besonders nephelin- und leuzitführende Typen, welche außer gelegentlichen Kalkbröckchen¹⁾ (Jaczewski und Stutzer, Zeitschr. f. prakt. Geol. 1910, 1) auch Granaten beherbergen. Man hält diese Granaten auch jetzt noch größtenteils für autochthon; nach meiner Ansicht sind sie es schwerlich. Daß die Granaten unter dem Einfluß der Ti- und Zr-reichen foyaitischen Magmen in Form von Melaniten (am Kaiserstuhl sogar mit 1.28% ZrO_2) ausgebildet wurden, wie bei Oberschaffhausen im Phonolith oder am Horberig im Leucitophyr, kann nicht wundernehmen.

So stammt auch der Melanit im Borolanit wahrscheinlich von eingestreuten Körnern des durchbrochenen kambrischen Mergels. Als Beweis dafür kann man betrachten, daß der Orthoklas besonders in der Nähe des Melanites zahlreiche wurmförmige und spindelförmige Gebilde umschließt, welche sehr den myrmekitischen Quarz-Feldspat-Aggregaten der Granite ähneln (Rosenbusch II, 1, p. 242). Das fremde Melanitkorn bildet hier gewissermaßen ein Strukturzentrum.

Im Ijolith von Jiwaara in Finnland verrät schon der Begleiter des Melanites, der Wollastonit, die Beimengung fremden Materiales.

Vermutlich gehört hierher auch der Granat-Pyroxen-Malig-

¹⁾ Vgl. auch Rimann, Der kalkspatführende Granit von Schmiedeburg (Zentr.-Bl. f. Min. 1909), und Högbom, Untersuchungen über das Nephelinsyenitgebiet von Alnö. (Stockholm Geol. For. Förh. 1895). Ihre Ergebnisse widersprechen meiner Deutung nicht.

nit, den Lawson aus Canada beschrieben hat (Univ. of Cal. Bull. of. the Dep. of. Geol. I, 357, Berkeley 1896).

Für Melilith in gewissen Basalten hat Becker (Zeitschr. D. G. G. 1907) die Vermutung aufgestellt, daß seine Bildung durch von dem basaltischen Magma durchbrochene Sedimente von vorzugsweise kalkiger Natur wesentlich begünstigt wurde. Der Melilith, dessen Vertreter in kontaktmetamorphen Gesteinen die nahestehenden Mineralien Gehlenit und Fuggerit sind, zeigt manchmal, z. B. am Herchenberge bei Brohl, die Eigentümlichkeit, daß er nur auf Klüften sich einstellt, in Nephelinbasalte selbst aber fehlt. Das erinnert sehr an Kluftfüllungen des Kontaktminerales Fassait (Traversellit) auf den Sprüngen des Monzonites, noch mehr aber an die wahrscheinlich pneumatolytisch erfolgten Ablagerungen gewisser Stoffe auf Klüften und Lithophysen saurer Ergußgesteine; neben Topas und Triidymit sind das stets Mineralien, die für die Kontaktmetamorphose als charakteristisch gelten, nämlich Granat und Cordierit. —

Ähnlich steht es wohl auch mit Perowskit, soweit er sich nicht aus Titanit entwickelt hat. Denn einerseits findet er sich auch in metamorphen Kalken am Monzoni, wo ich ihn seinerzeit auffand (Zentr.-Bl. 1901, p. 678), andererseits wurde er durch Mügge (N. J. B., Beil. Bd. IV, 581) auch als akzesorischer Gemengteil eines quarzhaltigen, hypersthenführenden Gneisgesteines bekannt, wo er Granat und Rutil begleitet. —

Wahrscheinlich sind nach Rosenbusch auch als metamorphe Fremdlinge hieher zu zählen, die Knollen etc. mit Hercynit von Ronsperg in Böhmen, die dunklen Einschlüsse im Klausener Diorit mit Eisenerzen, Spinell, Granat, Sillimanit und etwas Korund, ähnliche Bildungen in den Corlandt Series, sowie im Odenwalde (vgl. Rosenbusch, Physiogr. II, 1, p. 309, 337 und 363). —

Auch gewisse Sodalithvorkommen, zumal wenn gute Kristalle frühzeitig ausgeschieden wurden, können als verdächtig angesehen werden, da ein Glied der Mischungsreihe, der Lasurstein, bisher nur als Kontaktmineral gefunden wurde. Daneben soll aber nicht bestritten werden, daß Sodalith auch primär

aus Schmelzfluß sich bilden könne; denn die von Brögger beobachtete Umwandlung von Nephelin in Sodalith spricht unbedingt dafür. —

Hierher möchte ich aber auch zählen die granatführenden Serpentine. Der geringe Cr-Gehalt der Pyropen ist aus dem peridotitischen Schmelzflusse akquiriert. Den Kelyphit fasse ich dabei als magmatische Ausscheidung auf, gleich Schrauf, der ihn als pyrogene Kontaktbildung zwischen Pyrop und Olivin ansprach. Seine Zusammensetzung ist allerdings eine kompliziertere als Schrauf glaubte; den Picotit der inneren Zone wird man dabei gleichfalls als Fremdling ansprechen dürfen.

Wäre das Ganze nur gegenseitige Reaktion von Pyrop und Olivin, hervorgerufen im erstarrten Gesteine durch Verminderung des Druckes, wie Mrha annimmt, so müßte man doch auch schon unveränderte Typen gefunden haben, was bis jetzt nicht der Fall zu sein scheint.

Nötig ist die zentrische Struktur für die Charakterisierung eines Minerals als fremden Gemengteiles überhaupt nicht; ist sie aber da, wie stets in den basischen Gesteinen, so ist sie auch beweisend, und der Kelyphit gehört meiner Ansicht nach dazu.¹⁾ —

Mit Serpentin so häufig verbunden sind die Eklogite. Über ihr Entstehen sind die Ansichten noch sehr geteilt. Sauer scheint anzunehmen (C. R. Congr. Int., Wien 1903), daß die

¹⁾ Daß auch manche olivinführende Abarten der Gabbrogesteine eine Kelyphitzone um Olivine, Eisenerze und Biotite ausgebildet haben, wo sich diese Mineralien mit Feldspat berühren, widerspricht meiner Annahme nur scheinbar. Diese sind eben wahrscheinlich nicht aus dem Schmelzflusse direkt ausgeschieden, sondern es ist schon ein früherer Erstarrungsakt für diese Mineralien denkbar, und bei ihrer Wiedereinbettung in das Magma haben sie als Fremdkörper gewirkt, darum sind sie auch oft stark corrodirt. Ein Fremdkörper kann also aus einem früheren Erstarrungsakte des Magmas selbst stammen (wie vielleicht größenteils auch die Olivinfelsbrocken in Basalten); wenn aber z. B. zum Olivin auch Granaten in den Kelyphitzonen treten, wird man an nebenbei aufgenommenes fremdes Material zum mindesten denken können.

Eklogite in Amphibolite und weiterhin in Diorite oder Gabbro übergehen, nicht aber aus ihnen sich herleiten; er betont auch, daß es sedimentäre Eklogite gebe. Andererseits wird durch L. Hezner (T. M. P. M. 1903) und Grubenmann (Krist. Schief., 1904) der Standpunkt vertreten, daß wohl die Amphibolgesteine aus dem Pyroxengestein entstehen können, daß diese selbst aber sich herleiten aus Gabbros oder Diabasen, wenn dieselben in die Tiefe unter großen Druck gebracht würden, wobei sich zunächst Grünschiefer, dann Granatamphibolite und endlich in der tiefsten Zone Eklogite bilden würden. Der Granat entstünde dabei durch Zusammentreten der Olivine mit den Anorthitmolekülen der basischen Plagioklase. — Eine andere Ansicht, daß Eklogit durch saueres Granitbad umgewandelter Gabbro sei, ist wohl endgültig aufgegeben.

L. Hezner gesteht offen zu, daß Übergänge zwischen Gabbro und Eklogit, wie sie so vielfach zwischen Gabbro und Amphibolit bestehen, bisher nicht bekannt wurden, so sehr auch der Chemismus der Eklogite ihren Zusammenhang mit gabbroiden Gesteinen bestätige.¹⁾

Granat bildet sich nun aus den verschiedensten Gemengteilen, so aus Pyroxen, ferner aus Plagioklas als Kalktongranat bei der Saussuritisierung z. B. im Wurlitzit, vielleicht auch durch Wechselwirkung von Olivin und Plagioklas. Und so mag in der Tat ein großer Teil der Granaten in den Eklogiten auf letztere Weise sich herausgebildet haben. Aber ob auch die Kelyphiteklogite stets auf diese Weise entstanden sind, ob wirklich die radialstrahlige Hornblende erst bei der Umwandlung aus Omphacit sich eingestellt hat, wie wohl zuerst Lacroix an der unteren Loire konstatierte, oder ob nicht die Pyroxene schon ursprünglich radial und kelyphitartig um den Granat als Fremdkörper sich herumge-

¹⁾ Zu dem letzteren Gedanken möchte ich bemerken, daß man mit chemischen Ableitungen von Gesteinsreihen meiner Ansicht nach künftig noch viel mehr Vorsicht walten lassen muß, wie bisher; denn je mehr sich fremde Beimischungen herausstellen, desto wechselnder und damit wertloser werden die chemischen Analysen sein.

stellt haben, erscheint mir noch nicht genügend klar-gelegt, wohl weil niemand mit dem Gedanken rechnete, der Granat könne hier ein Fremdling sein.

Und doch ist die Idee schwer von der Hand zu weisen, wenn man die geologisch nachgewiesenen Verbindungen des Eklogites mit anderen Gesteinen ins Auge faßt, welche höchst wahrscheinlich fremdes Material führen. So schreibt Zirkel (III, p. 365): „Die innerhalb der sächsischen Granulitformation vorkommenden, ganz isolierten und räumlich beschränkten Eklogite können nach Credner (Granulitgeb., 1884) als quarz- und feldspatfreie extreme Modifikationen des Pyroxengranulites aufgefaßt werden, welche überall mit Einlagerungen von letzteren oder von Granatserpentin oder mit solchen von beiden vergesellschaftet sind.“ Gerade die Pyroxengranulite zeigen aber nach Bergt (Monatsber. D. G. G. 1904, 4) sehr häufig zentrische Struktur, in Form von strahligem Ansatz von Pyroxen- und Amphibolstengeln um Granat.

Sehr wichtig ist diesbezüglich auch der enge Verband von Eklogiten und Granatamphiboliten mit Serpentin. Solche sind z. B. bekannt vom Galgenberge bei Winklarn in der Oberpfalz. Hier habe ich direkt den Eindruck gehabt, als ob die Granatamphibolite nur eine Art Kelyphitbildung im großen darstellten. — H. Traube (N. Jahrb. 1889, I) beschreibt solchen Verband auch aus den Härtekämmen bei Frankenstein in Schlesien. Die petrographischen Verhältnisse sind hier besonders interessant: Die Eklogite stehen in Verbindung mit Serpentin, granathaltigem Gabbro (also auch im Gabbro Granat, wenn es nicht ein Granulit ist!) und Amphiboliten. Der Eklogit bildet Einlagerungen im Serpentin; er besteht aus Granat, Diallag-Omphacit und Zoisit, und wichtig ist, daß der Omphacit von Schnüren des Granates durchwachsen ist, wie man das auch von den Pyroxenen des blue ground in Südafrika kennt.

Ferner lagern die Eklogite von Karlstätten und Gurhof in Niederösterreich mit Serpentin verbunden im Gra-

nulit. Becke beschreibt (T. M. P. M. IV) ein eklogitisches Gestein, welches aus Granat und diallagähnlichem Pyroxen besteht; „die Zwischenräume sind ausgefüllt von einem sehr feinkörnigen Gemenge von schwarzem Erz, tief braunroter, lebhaft pleochroitischer Hornblende, welche oft regelmäßig radial um den Granat herumgestellt ist, und Plagioklas“. Diese Hornblende ist wohl schwerlich sekundär wie die von Lacroix beschriebene, sondern das ganze Gestein ist wohl ursprünglich ein granatführender Hornblendegabbro gewesen, in welchem der Granat als Fremdkörper orientierend auf die Hornblende gewirkt hat. —

Damit habe ich auch aus der Literatur einige Beispiele dafür erbracht, daß Eklogit sich wenigstens teilweise auf anderem Wege gebildet haben kann als auf dynamischem, wie man neuerdings allgemein annimmt. Auch hier scheinen gelegentlich fremde Bestandteile mitzuwirken. — Bemerkenswert ist auch, daß in der Literatur so oft von Chromdiopsid und chromhaltigem Omphacit gesprochen wird, was, wenn nicht die Herausbildung aus Serpentin-Magma, so doch Beeinflussung durch es bedeuten dürfte. —

Aus dem südafrikanischen Kimberliten kennt man massenhaft sogenannte Eklogitknauern, die allgemein für ältere Ausscheidungen aus dem Magma des blue ground erklärt werden. Sie bestehen nach Corstorphine aus Chromdiopsid und Pyrop mit Kelyphitschalen und enthalten Diamant und zuweilen Graphit. Mit ihrer Entstehung werde ich mich später zu beschäftigen haben, zunächst möchte ich auf etwas anderes Gewicht legen.

Rosenbusch (II, 2, p. 1510) bemerkt nämlich dazu, daß Eklogite keinen Pyrop führen, und daß die hier beschriebenen Eklogite vielleicht zum Ariégit von Lacroix gehören könnten. Der Einwand ist heute wohl nicht mehr stichhaltig, weil, wie Grubenmann (Kryst. Sch. II., p. 82) anführt, auch in den Eklogiten Granatvarietäten vorkommen, welche stark nach einem Pyrop hintendieren. Aber der Hinweis auf Ariégit ist wichtig.

Man versteht darunter nach Lacroix (zit. Rosenbusch II, 1, p. 481 und II, 2, p. 1511) schlierige und gangförmig im Lherzolith von Südfrankreich auftretende pyroxenitartige Gesteine, welche in den rostbraunen Lherzolithen oft eine gebänderte Struktur hervorbringen durch lagerartige Anhäufung von smaragdgrünem Chromdiopsid und schwarzem Picotit; in anderen Fällen bilden sich bis zu 1 m mächtige Lagen hauptsächlich von einem anderen Pyroxene (auch Diallag), als dem der Lherzolithe, oder auch schwarzem Amphibol und bisweilen einem blaßroten Granat; immer sind derartige Lagen und Gänge reich an Spinell. Vielfach ist dabei die Kelyphitstruktur schön ausgebildet, die Pyroxene (!) sind dann von einem spitzenartigem Gewebe aus farblosem Pyroxen mit Spinelltröpfchen in einem einheitlichen Untergrunde von Anorthit oder Bytownit umrandet. Wenn das Gestein Granaten enthält, ist auch dieser mit dem Kelyphitmantel umgeben.

Der Tonerdegehalt aller dieser Formen ist ausnahmsweise hoch, geht bis zu 20%. Das erinnert sehr an eine Granulitart, welche F. Sueß aus Mähren beschrieben hat, die 18% Tonerde enthält und mikroskopisch sich durch hohen Gehalt an Disthen, Spinell und Cordierit auszeichnet. F. Sueß und mit ihm Rosenbusch sehen darin ein uraltes Kontaktprodukt des normalen Granulites. Nach meiner Auffassung aber sind darin eben nur die aus dem fremden Nebengesteine stammenden Gesteinskomponenten ausnahmsweise stark in Schlieren und Lagern angehäuft. Das Gleiche wird wohl auch für die Ariégite gelten: Es hat hier eine starke Durchtränkung mit fremdem Materiale stattgefunden, daher der hohe Tonerdegehalt; die Granaten und Pyroxene¹⁾ mit ihren Kelyphitsäumen, die sie als Fremdkörper bezeichnen, ferner die zahlreichen Spinelle und vielleicht auch die braunen Hornblenden sind mikroskopisch die Zeugen davon.

Die bei dem Ariégit so häufige Kelyphitbildung um

¹⁾ Sonach hat Haüy doch für gewisse Fälle recht behalten, daß der Augit ein „Fremdling im Schmelzflusse“ sei.

Pyroxen ist meines Wissens bis jetzt noch nicht zum Vergleich für die Kelyphitentstehung herangezogen worden. Sie legt doch unwiderleglich Zeugnis dafür ab, daß in dieser eigentümlichen Schalenbildung nicht bloß der Ausdruck einer gegenseitigen Reaktion von Granat und Olivin zu erblicken ist. —

Hier ist endlich der Ort, auf die Zusammensetzung und damit die Bildungsform der südafrikanischen diamantführenden Gesteine einzugehen. Einschlägig sind hier die Arbeiten von Carvill Lewis (*On a diamantiferous peridotite and the genesis of the diamond*, Geol. Mag. 1887), ferner von Lacroix (*Gisement diamantifère de Monastery*, Bull. soc. min. Fr. 1898), weiter von Geo W. Card (*An Eklogit bearing breccia from the Bingera Diamond Field*, Rec. of Geol. Surv. of N. S. Wales 1902), dann von R. Beck (*Untersuchung über einige südafrikanische Diamantlagerstätten*, Zeitschr. D. G. G. 1907) und endlich von Corstorphine (*Occurrence in Kimberlite of Garnet-Pyroxene nodules carrying Diamonds*, Trans. Geol. Soc. S. Africa 1907).

Nach diesen Autoren ist das Hauptgestein der peridotitische Kimberlit, ein Gestein, dessen Grundmasse aus Serpentin oder serpentinisiertem Glase mit Biotit, Ilmenit, Chromit, Magnetit, Perowskit und Nephelin sich aufbaut (daher alnötähnlich nach Lacroix), und dessen Einsprenglinge Olivin, Pyrop, Pyroxen, Biotit, Ilmenit und Perowskit sind.

Nach Beck ist der Pyrop im blue ground weinrot gefärbt und findet sich oft in ganz abgerundeten Körnern mit glatter (!) Oberfläche, die von einem grünlich schwarzen faserigen Kelyphitsaume umgeben sind. Der Kelyphitsaum ist gegen die Serpentingrundmasse scharf abgesetzt, und besteht aus radiär gestellten, stark doppelbrechenden Fasern mit stärkerer Lichtbrechung als Canadabalsam und gerader oder nur wenig schiefer Auslöschung.

In dem blue ground finden sich, außer groben sedimentären Schollen, nach Beck, dem ich hier folge, weiterhin eingeschlossen:

1. Peridotite, Olivin, teilweise mit Enstatit.
2. Biotitfetzen (mit Apatit und Ilmenit).
3. Gabbro, Norite und Labradoritfelse.
4. Granat-Pyroxenfelse und „Eklogite“, z. T. mit Diamanten.
5. Granat-Cyanitgesteine (bei Damplaats).

Davon interessieren hier nur die beiden letzten Arten.

Die Granat-Pyroxenfelse sind unter den Knollen die häufigsten. Von stumpfeckiger, ellipsoidischer oder unregelmäßig kugeliger Form haben sie zuweilen eine Oberfläche, die so glatt ist, wie die eines Flußgerölles. Ihre Größe geht bis zu 40 cm im Durchmesser. Auf Rissen hat sich manchmal eine biotitreiche kimberlitähnliche Gesteinsmasse ausgebildet. — Die Knollen bestehen teils aus grünem Diopsid mit etwas Bronzit, teilweise überwiegt der Granat (es fand sich ein reiner Granatklumpen von 30 cm Durchmesser); dazwischen kommen alle Übergänge vor. Die meisten Knollen bestehen aus drei Viertel Diopsid, zu ein Viertel aus Granat.

Der Granat bildet gewöhnlich rundliche oder polygonale Körner inmitten eines Aggregates von unregelmäßigen Pyroxenkörnern. Manchmal ist der Diopsid durchwachsen von Stäbchen oder Lamellen von Granat, oder dieser bildet schrittgranitähnliche Einwachsungen im Pyroxen. Auch Adern von Granat finden sich in Bastit; ferner schließt der Granat manchmal Spinelle ein.

Die meist diamantreichen Eklogite sind nach Beck nicht als Gerölle, wie Bonney annahm, sondern wegen ihrer stofflich nahen Verwandtschaft mit dem Kimberlite als intratellurische Ausscheidungen innerhalb des peridotitischen Schmelzflusses zu betrachten. Sie bestehen aus Chromdiopsid, Granat mit untergeordnet Biotit und Diamant, sekundärer Hornblende und Calcit, dazu vermutlich Korund, ferner Ilmenit, Perowskit, Zirkon, Rutil, Graphit. Der Granat hat stets einen schmalen dunklen Saum nicht von Kelyphit, sondern von Glimmer und Erz.

Diese „Eklogit“-Knollen im Kimberlit sind nach Beck ganz analog den Olivinknollen im Basalt. Da sie „genetisch

mit den Eklogitlinsen des Gneisgebirges nichts gemein haben, auch in der Zusammensetzung von ihnen abweichen“, gibt er ihnen den neuen Namen Griquaite.

Als weitere Einschlüsse im Kimberlit zitiert Beck noch gewisse Granat-Cyanitgesteine. „Diese beide Mineralien bilden zerspratzte Einschlüsse in einem Plagioklas-Augitgesteine, das zugleich viele kleine grüne Spinelle und einzelne dunkelblaue Körner von Korund enthält.“

Wie es, ausgehend von dem neuen Granulitvorkommen und von anderen längst dafür angesehenen Gesteinen, auch für verschiedene andere Gesteine wahrscheinlich geworden ist, daß die darin enthaltenen Granaten etc. nichts anderes darstellen, als umkristallisierte Partikeln des zertrümmerten Nebengesteines, so ist das wohl auch für den Pyrop der Diamantlagerstätten anzunehmen. In den Knollen liegt er inmitten von Pyroxenkörnern, gegen Serpentin hat er einen Kelyphitsaum, an dessen Bildung er sich wegen seiner glatten Oberfläche unmöglich beteiligt haben kann; manchmal umrandet ihn Biotit mit Erz. Das sind Momente genug, um ihn als Fremdling gegenüber dem Schmelzflusse anzusprechen. Ist das richtig, so muß man aber noch unbedingt weiter gehen; nämlich die merkwürdigen Durchwachsungen des Pyroxens durch Granat können dann ebenfalls nur so gedeutet werden, daß auch der Pyroxen wenigstens größtenteils nicht autochthon ist. Das gestattet dann weiterhin einen Ausblick auf die Bildung der Pyroxengranulite und vielleicht auch der Pyroxenquarzporphyre, deren Pyroxene manchmal in Haufen um die Granaten sich ansammeln, und die gleichfalls dem Nebengesteine entstammen dürften (vgl. Bergt, Pyroxengranulit und Pyroxenquarzporphyr, Monatsber. D. G. G. 1909, 4).

Weil nun der Pyrop zusammen mit dem Pyroxen als ursprünglich fremde Gemengteile bei der Umkristallisierung im Tiefengesteine ihren Zusammenhang, zum Teil in komplizierten Verwachsungen beizubehalten wussten, bilden sie mit Vorliebe die gerundeten Einschlüsse im Kimberlit, d. h. sie

lösten sich leicht wieder aus dem Verbande, als das ursprüngliche Tiefengestein unter dem gewaltsamen Aufdringen des Kimberlites in Trümmer und Schollen zersprengt wurde.

V.

Der Diamant selbst ist bei den vorhergehenden petrographischen Betrachtungen zunächst aus dem Spiele gelassen worden. Die verschiedenen Theorien über seine Entstehung darf ich als bekannt voraussetzen; es fragt sich nur, welche von ihnen von dem neugewonnenen Standpunkte aus als die annehmbarste erscheint.

Da ist nun zunächst darauf hinzuweisen, daß Diamant gerade in den oben beschriebenen Knollen sehr häufig auftritt, daß weiterhin wiederholt Verwachsungen zwischen Pyrop und Diamant beobachtet wurden, daß endlich gar nicht selten auch Graphitkriställchen in die Kombination eintreten.

Hat man auch schon genügend darauf geachtet, daß auch gewisse Graphitvorkommen ebenso wie die südafrikanischen Diamanten gebunden sind an Eruptivgesteine, welche fremde Gemengteile führen, seien diese z. B. Kalksteinschollen und mikroskopische Calciteinschlüsse, wie sie durch Iaczewski und Stutzer (Zeitschr. prakt. Geol. 1910, H. 1) aus dem Nephelinsyenit der Alibertgrube in Sibirien bekannt geworden sind, seien es Granaten und Pyroxene, wie man von den Granuliten von Ceylon und dem Böhmerwalde weiß? Nur Weinschenk (Abh. bayer. Ak. Wiss. 1900) scheint diesen Gedanken gestreift zu haben, weil er die geologische Verbindung von Graphit und Granulit auf Ceylon für genetische Verwandtschaft hält, ohne sich allerdings näher darüber zu äußern.

Darüber ist man sich ja wohl allgemein klar geworden, daß der Kohlenstoffgehalt nicht einfach den eingebackenen eventuell Kohle führenden Trümmern des an- und überlagernden Sedimentgebirges entstammen könne. Diese alte Ansicht von Lewis ist hinfällig geworden. Und Beck hat das vielleicht am präzisesten ausgesprochen, wenn er schreibt: „Der

Schauplatz der Entstehung ist damit in die Tiefe zu verlegen, wo eine Einwirkung des Magmas auf Kohle oder bituminöse Gesteine ausgeschlossen erscheint, wohl aber ein ursprünglicher Gehalt an Metallcarbiden das Urmaterial geboten haben kann.“ Auch Weinschenk hat für die Herkunft der sublimativ gebildeten Graphitlagerstätten auf diese hypothetischen Kohlenstoff-Metallverbindungen rekurriert, was übrigens wenigstens für Ceylon schon 11 Jahre früher J. Walther getan hatte.

Aber sollte die Annahme von der Unmöglichkeit der Bildung kristallisierten Kohlenstoffes aus organischen Relikten nicht bloß auf die eigentlichen Ergußgesteine, also mehr Bildungen der Oberfläche, beschränkt werden müssen? In Südafrika kann man doch genau zwei Stadien unterscheiden, die Bildung eines Tiefengesteines mit Pyroxen, Granat, Diamant, Graphit u. s. w., dessen Trümmer uns in den Knollen entgegen-treten, und das erst in späterer Zeit durch das neuerliche Aufdringen eines olivin- und nephelinführenden Schmelzflusses eine gewaltsame Desaggregation erfuhr. Sicherlich haben sich die Diamanten nicht erst herausgebildet durch Verkokung der kohlehaltigen Sedimente der dabei durchbrochenen Karoo-Formation, sondern sie waren schon im alten Tiefengesteine fertig ausgebildet. Was wissen wir aber in Südafrika von den geologischen Verhältnissen der Tiefe? Kann nicht unter der Karoo- und Kap-Formation noch eine viele, viele Kilometer mächtige Schichtenserie bis hinunter ins tiefste Algonkium verborgen liegen, die dem bis in eine gewisse Höhe gekommenen primären Schmelzfluß das Material zur Bildung von Pyrop, Pyroxen, aber auch von Diamant und Graphit in reichem Maße bieten konnte?

Huddelston (Min. Soc. London 1883) hatte schon angenommen, daß Kohlenwasserstoffe, die dem vielleicht in der Tiefe anstehenden kohlehaltigen Schiefer entstammen, durch die wasserhaltigen Mg-Silikate unter besonderen Druck- und Temperaturverhältnissen zersetzt worden seien, d. h. daß durch Reduktion Kohlenstoff frei geworden sei.

Das dünkt mich in der Tat die plausibelste Erklärung. Man wende nicht ein, daß damit die Flucht ergriffen sei in unbekannte und sehr problematische Tiefen, denn Beck verlegt ja den Vorgang der Entstehung von Diamant und Graphit in noch viel größere Tiefen, „wo eine Einwirkung des Magmas auf Kohle oder bituminöse Gesteine ausgeschlossen erscheint“. Die metamorphosierten Sedimentreste im Böhmerwalde sind doch höchstwahrscheinlich frühpaläozoischen oder algonkischen Alters und gerade in diesen finden sich in der Vergesellschaftung mit Granuliten die Graphitvorkommen, die ich allerdings größtenteils durch Kontaktmetamorphose, zum Teile aber auch durch Resorption und Wiederausscheidung innerhalb des Schmelzflusses selbst entstanden denken muß.

Als direkte Beweismomente für diese Bildungsweise sehe ich die Vergesellschaftung von Diamant und Graphit mit den offensichtlichen Fremdlingen Granat und Pyroxen an; sie geht so weit, daß der Diamant mit dem Pyrop in Verwachsung auftritt, wie Stelzner hervorhob, und das kann doch wohl nur durch gleichen Bildungsvorgang und gleiche Herkunft erklärt werden. Indirekt spricht hiefür auch die bekannte ungleichmäßige Verteilung der Diamanten, welche bei Annahme von primären Metallcarbiden schwer verständlich wäre, weil diese den Schmelzfluß doch höchst wahrscheinlich in seiner ganzen Ausdehnung gleichmäßig begleitet hätten.

So komme ich mit Huddleston zu einer einfachen Erklärung für das Auftreten kristallisierten Kohlenstoffes in der Natur, einfacher und ungezwungener jedenfalls als all diese Hypothesen von ursprünglichen Metallverbindungen des Kohlenstoffes im unveränderten Schmelzflusse, von denen wir praktisch gar nichts wissen und wohl auch nie etwas wissen werden. Eine einfachere Lösung aber ist doch stets einer komplizierteren vorzuziehen, zumal wenn erstere einigermaßen gestützt, letztere aber durch gar nichts motiviert werden kann.¹⁾

¹⁾ Rosenbusch (p. 457) nimmt für die südafrikanischen Diamanten organische Entstehung an, weil chemische Versuche von Friedländer, Sitzungsab. d. math.-phys. Kl. Jahrg. 1910, 13. Abh.

Eine ähnliche Ansicht hat auch Postlethwaite (Zeitschr. f. Krist. 20) für die Bildung des Graphites von Borrowdale ausgesprochen und er wies ausdrücklich auf die Analogie mit den Kimberley-Diamanten hin. —

Nach diesen Deduktionen ist also der Kohlenstoff in der Natur, soweit Diamant und Graphit in Frage kommen, wenn ich diese Ausdrücke hier gebrauchen darf, *vados*, und da, wo er z. B. wie auf Ceylon in Form des Graphites in Gängen aufsetzt, nur *pseudojuvenil*. Dabei können immerhin die hypothetischen Metall-Carbonyle einmal als Durchgangsstadium fungiert haben. —

Eine weitere Frage ist die, unter welchen Umständen sich dieser *vadose* Kohlenstoff als Diamant oder als Graphit ausbildet. Hierüber habe ich eine Vermutung, welche sich an den Umstand knüpft, daß der Graphit wohl sicher flüchtig war, ehe er auf den Spalten des Granulites in Ceylon sich absetzte; vom Diamanten kennt man aber ein derartiges Verhalten nicht. Das hängt wohl damit zusammen, daß die saueren Schmelzflüsse viel mehr Gase und *agents minéralisateurs* enthalten, die auch den Kohlenstoff veranlassen, flüchtig zu werden, während die basischen Magmen daran viel ärmer sind; darum blieb der Diamant im basischen Eruptivgesteine selbst sitzen und nur stellenweise bildeten sich kleine Graphitkriställchen.¹⁾

Hasslinger und Moissan dafür sprechen; den Graphit der grönländischen Eisenbasalte leitet er aber, entgegen der Annahme Törnebohm's, aus Metallecarbiden her (p. 1255).

¹⁾ Bekanntlich wandelt sich Diamant beim Erhitzen in Graphit um, nach Vogel und Tamann (Zeitschr. f. phys. Chem. 1909) beginnt der Vorgang schon bei 1000°. Da aber diese Untersuchungen, wie es scheint, bisher nur bei Atmosphärendruck ausgeführt wurden, können sie zur Aufklärung der genetischen Verhältnisse schwerlich benutzt werden.

VI.

Schluß.

Wesentlich durch die besonders von den Franzosen ausgebildete Injektionstheorie haben wir große Areale von kristallinen Schiefen als innige, oft mikroskopische Mischungszonen von schmelzflüssigem und sedimentärem Materiale kennen gelernt.

Auch in nicht schiefrigen Eruptivstöcken hat man schon lange das besonders am Rande häufige Auftreten von Kontaktmineralien, wie Granat, Cordierit, Andalusit etc., auf Umkristallisation von eingebackenen Nebengesteinsteilchen zurückgeführt. Und das Gestein, dessen Beschreibung den Ausgangspunkt dieser Untersuchung bildet, der Granulit am Spitzenberg, wird man wegen seiner geringen räumlichen Ausdehnung allgemein wohl unbedenklich hier einrangieren, wenn auch das sedimentäre Nebengestein durch Erosion entfernt ist oder wegen mangelnder Aufschlüsse sich vorläufig nicht auffinden läßt.

Aber man hat nicht die Konsequenz gezogen, nun auch alle derartige Mineralien, wenn sie in einem Erstarrungsgesteine ferne von einem bekannten Kontakte oder auch in sehr reichlicher Menge auftreten, auf die gleiche Weise zu erklären, sondern man spricht hier vielfach noch von primären autochthonen Ausscheidungen aus dem Schmelzflusse.

Ein Hauptmoment für die Notwendigkeit dieser Trennung erblickt man in der guten oder schlechten kristallographischen Begrenzung der betreffenden Mineralien. Die schlecht begrenzten sind es zunächst, welche man durch Übernahme aus dem schon vorher metamorphen Nebengesteine erklärt, während die kristallographisch gut ausgebildeten dem Schmelzflusse selber eigentümlich gewesen sein sollen. Aber sehr viel ist dadurch meiner Ansicht nach nicht gewonnen; denn, wenn man auch annimmt, daß die lappig begrenzten Cordierite oder Andalusite schon fertig aus dem Nebengesteine übernommen wurden und dann im Schmelz-

flusse durch Korrosion Einbuße an ihrer Gestalt erlitten haben, so können in anderen Fällen die sedimentären Partikel ganz gut aus ursprünglich klastischem Zustande übernommen sein, erst im Schmelzflusse Metamorphose erfahren haben und dann als frühe Ausscheidung mit guten Kristallformen ausgebildet worden sein. Das wäre dann allerdings ein bequemes Unterscheidungsmittel dafür, ob diese fremden Partikel aus einem klastischen oder aus einem schon vorher veränderten Nebengesteine stammen.

Aber abgesehen davon, daß diese Frage für den fast stets gut kristallisierenden Granat wohl selten zu entscheiden sein dürfte, muß man doch auch in Betracht ziehen, daß die Stärke der Umwandlung nach dem Maße der Abkühlung des Schmelzflusses ganz bedeutend schwanken kann, so daß einesteils tadellos begrenzte fertige Kristalle aus dem Nebengestein herübergenommen werden können, ohne eine Korrosion zu erfahren, andernteils bei sehr hoher Temperatur auch derartige fertige Kristalle zunächst ganz eingeschmolzen und später ebenso, wie ursprünglich klastische Körner, in gut begrenzten Kristallen wieder ausgeschieden werden können.¹⁾

Demnach ist eine feste Grenze zwischen autochthonen und allochthonen Granaten etc. überhaupt nicht zu ziehen und Osann (l. c.) hat seinerzeit in richtiger Erkenntnis dieses Umstandes einfach alle Cordierite, die größeren schlechten sowohl, wie die kleinen gut begrenzten in der Grundmasse für aus dem Nebengesteine stammend erklärt. —

Wenn ich also, ausgehend von den Granuliten, die einzelnen vorliegenden Erfahrungen zusammenfasse, verallgemeinere und zu einem einheitlichen Bilde gestalte, so glaube ich nirgends den Tatsachen Gewalt anzutun und Einwände gegen diese Anschauung werden sich nach dem eben Gesagten schwerlich machen lassen.²⁾ Daß dabei gelegentlich auch die

¹⁾ Siehe hierüber die Publikation von F. H. L. Vogt, Physik.-chem. Gesetze der Kristallisationsfolge in Eruptivgesteinen. T. M. P. M. 1908. — Auch Osann (l. c.) hat letzteren Vorgang für wahrscheinlich erklärt.

²⁾ Die verschiedene Zusammensetzung der Granaten in den einzelnen

Diamant- und Graphitvorkommen ihre alte und so annehmbare Erklärung wiederbekommen, ist ein sehr erfreuliches Nebenergebnis. —

Es gibt also viel mehr Mischgesteine, als man bisher kannte; Cordierit- und Granatgneise gehören hierher, ferner gewisse Eklogite und Granatserpentine, Boralanit, dann aber auch Granulit, Charnockit, Paragranulit, Ariégite u. a. Erst wenn man solche Mischgesteine als solche erkannt hat, wird es möglich sein, schwere Irrtümer in einer chemischen Systematik der Eruptivgesteine zu vermeiden. —

Es ergeben sich auch noch Folgerungen mehr allgemeiner Natur.

Die unregelmäßige Lagerungsweise ist mit ein Hauptmoment für die Herleitung gewisser Gemengteile aus fremder Umgebung. Aus der Beschreibung der Ariégite wird man lebhaft daran erinnert, daß die dortigen granat- und spinellführenden Lagen tief gelegenen Muldenachsen sedimentärer Ablagerungen entsprechen könnten, die mit ihren tiefsten Partien in einen lokalen Schmelzfluß getaucht haben und dadurch unter Beibehaltung ihres allgemeinen räumlichen Umrisses diese Mischgesteinszonen hervorgebracht haben. Daraus könnte man weiter den Schluß ziehen, daß die dortigen Ariégiteinlagerungen im Lherzololith Mittel zur Rekonstruktion der ursprünglichen Tektonik geben könnten, daß sie z. B. als Wurzeln für Deckschollen zu deuten wären. — Durch eine derartige Annahme würde aber vielleicht auch eine leichtere Erklärung für

Vorkommen wird man kaum ins Feld führen können, da die einzelnen Mischungsreihen ineinander übergehen, und der Al- und Fe-reiche Almandin z. B. in Glimmerschiefern ebenso schon als Kontaktprodukt anerkannt wurde, wie die Kalkeisengranate (Melanite) und Grossulare. Pyrop und Spessartin können ihren Gehalt an Cr bzw. Mn aus dem Schmelzflusse, letzterer wohl auch aus dem ursprünglichen Nebengesteine haben. — Die pneumatolytische Bildung gewisser Granaten (mit Topas etc.) in Liparit scheint wie die Graphitbildung an das Vorhandensein sehr gasreicher Schmelzflüsse gebunden zu sein.

die von Sederholm (G. Rundsch. 1910, H. 3) aufgestellte Palingenese geschaffen. Dann wäre es nicht einfach die Verlagerung in die Tiefe, welche für die tief gelegenen Mulden gewisser Leptite zu einer neuerlichen Aufschmelzung führen würde, denn diese wäre wohl für die sedimentären Partien der Leptite schwer erklärlich, sondern es wäre das lokale Eintauchen in verwandte saure Magmabassins, das diesen Partien eine neuerliche späte, wenn auch abgeminderte Eruptivität verleihen würde. —

Mineralogisch-geologisches Laboratorium
der K. Technischen Hochschule in München.

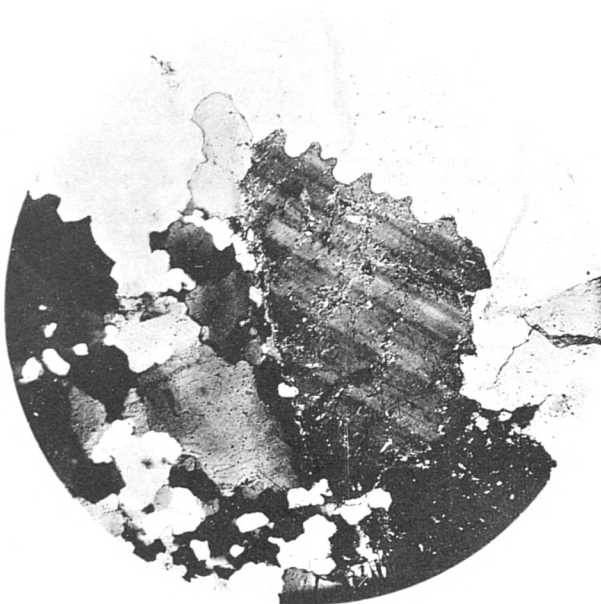
Tafelerklärung.

I.

1. Granulit von Spitzenberg. Hypidiomorph-körnige Struktur.
Plagioklas gut gegen Quarz begrenzt. + Nic. Vergr. $\frac{20}{1}$.
 2. Granulit von Spitzenberg. Lappige Ausläufer des Quarzes
gegen den Plagioklas. + Nic. Vergr. $\frac{58}{1}$.
-



1



2

Tafelerklärung.

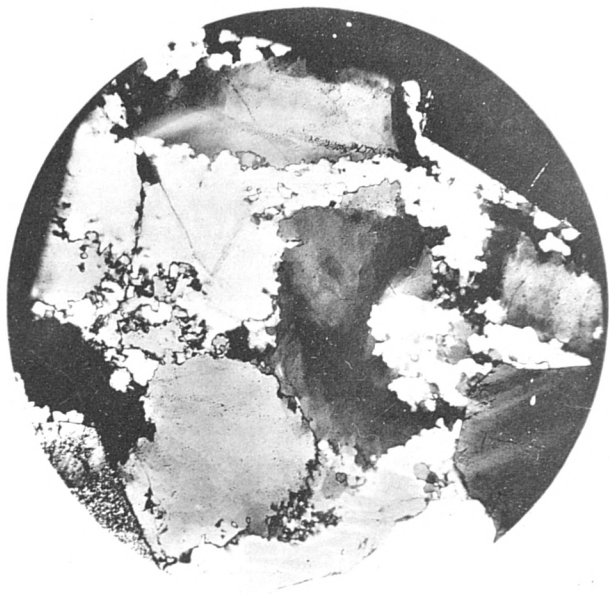
II.

3. Granulit von Spitzenberg. Die undulös auslöschenden, aber noch einheitlichen Quarze umsäumt von Aggregaten kleiner verzahnter Quarzkörner. Mörtelstruktur (malchitisch?).

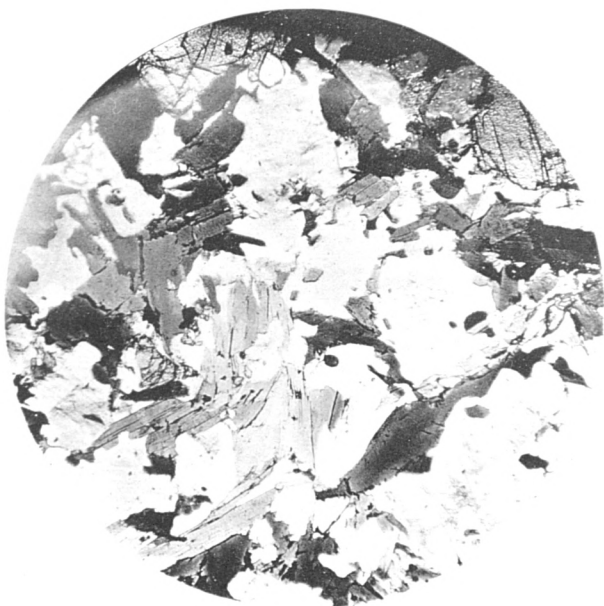
+ Nic. Vergr. $\frac{33}{1}$.

4. Granulit von Spitzenberg. Umrahmung der Plagioklase durch Biotit, dieser selbst wieder von Erz umsäumt. Gewöhl. Licht.

Vergr. $\frac{20}{1}$.



3



4