

Der Granulit von Marbach-Granz a. d. Donau.

Von H. Limbrock

(Mit 16 Textfiguren)

Von Marbach donauaufwärts ist auf eine Erstreckung von beinahe 3 Kilometer hin ein kleines Granulitmassiv aufgeschlossen. Auf dem gegenüberliegenden Ufer hat es seine Fortsetzung bei Krumnußbaum; es scheint aber auch flußabwärts bei Emmersdorf gegenüber Melk nochmals aufzutauchen, während es oberhalb Persenbeug noch verschiedentlich zutage tritt, besonders aber in Form von „Augengranuliten“ an der Eisenbahnlinie bei Kilometer 56·6.

Eine genauere Umgrenzung des Granulitmassivs scheint wegen der später eingetretenen Vergneisung vieler Gesteine durch die Ausläufer des Granitbatholithen von Grein-Sarmingstein unmöglich zu sein.

Wenn nun auch das normale Gestein von Marbach sich kaum wesentlich unterscheiden wird von den zahlreichen kleineren Granulitvorkommen in den verschiedensten Teilen des böhmischen Massivs, vor allem im Vergneisungsgebiet östlich vom moldanubischen Granitbatholithen, so zwischen Krems und St. Pölten, bei Eitzmannsdorf, Blumau, Borry in Mähren usw., so dürfte trotzdem eine eingehende Darstellung der vielen interessanten Einzelbeobachtungen manche neue Gesichtspunkte bieten für die Beantwortung der Granulitfrage.

Mehrwöchige geologisch-petrographische Untersuchungen im Gebiete zwischen Marbach und Sarmingstein brachten nämlich neben anderer reicher wissenschaftlicher Ausbeute auch manches wertvolle Material für die schon von Naumann verteidigte und später von Lepsius, Weinschenk und anderen vertretene Anschauung, die im Granulit nichts anderes erblickt als ein unter besonderen Bedingungen erstarrtes saures Tiefengestein, das später keine wesentliche Metamorphose mehr durchgemacht hat, im Gegensatz zur verbreiteten Ansicht, die in dem Gestein das Produkt einer besonderen „granulitoiden“ (F. E. Sueß) Umwandlung von Ortho- und Paragesteinen erblickt.

Als abgeschlossen haben die Untersuchungen im Felde nicht zu gelten; man wird vielmehr noch manche interessante Einzelheiten erwarten dürfen. Nichtsdestoweniger dürften die im nachfolgenden mitgeteilten Beobachtungen wenigstens etwas beitragen zur Klärung des Granulitproblems, das weniger durch theoretische Ableitungen als vielmehr durch Beibringung von neuem Beweismaterial seiner endgültigen Lösung zugeführt wird.

I. Das eigentliche Granulitmassiv.

Die Eisenbahn Krems—Grein durchfährt von Marbach an das Granulitmassiv in seiner ganzen Ost-West-Erstreckung, so daß zu den durch den Donaudurchbruch geschaffenen natürlichen Aufschlüssen noch eine fast ununterbrochene Kette von künstlichen kommt, die das Gestein in tadellos frischem Zustande zutage treten lassen.

1. Die Verhältnisse im allgemeinen.

Die anstehenden Felsen zeigen nicht selten neben eigentlichen Verwerfungen starke Druckklüftung, die hie und da soweit geht, daß das Gestein in kleine, meist scharfkantige Bruchstücke zerlegt wird. Dieselbe muß verhältnismäßig jung sein, da ältere Klüfte gewöhnlich von lamprophyrischen Gängen ausgefüllt oder durch innig mit dem Granulit verwachsene Pegmatit- und Aplitadern verheilt wurden. In ähnlicher Weise verheilt, sieht man vereinzelt innerhalb der granulitischen Bankung kleinere geschleppte Verwerfungen, die anscheinend in noch heißem Gestein vor sich gingen. An etwas angewitterten Felsen kann man überdies stellenweise deutliche Fluidal- oder Stauchungserscheinungen wahrnehmen. Sie entsprechen keiner Faltung im großen, sondern sind auf kleinere Partien beschränkt.

Eine wahrscheinlich verwandte Erscheinung läßt eine bei Kilometer 50:5 freigelegte Kluftwand erkennen. Hier heben sich hellere gestauchte Bänder oder Schlieren von zum Teil unregelmäßiger Begrenzung von dem nur wenig dunkleren Gestein ab, die in ihrer Form unverkennbare Ähnlichkeit haben mit aplitischen Schlieren oder verschweißten und pygmatisch gefalteten Injektionen im Granitgneis (Fig. 1). Für die primäre Entstehung dieser Stauchungen spricht das ganze Auftreten dieser Schlieren im richtungslos-körnigen¹⁾ Gestein; wir werden auf ihre Bedeutung noch zurückkommen.

Ganz ähnliche Erscheinungen kann man des öfteren auch im kleinen wahrnehmen. Die in Figur 4 abgebildete, fast rein weiße, gestauchte Schliere gleicht auffallend einer pygmatisch gefalteten aplitischen Injektionsader.

Der ständige Wechsel von helleren Partien mit wenig dunkleren im Kleinen wie im Großen ist überhaupt das gewöhnliche, wenngleich die dadurch hervorgerufene Bänderung wohl nie den Grad und die Regelmäßigkeit erreicht wie bei den bekannten Granuliten von Sachsen. Vielfach sind es nur noch unregelmäßige Schlieren, hinter denen man auf den ersten Blick Reste von aufgelöstem Schiefer vermutet (Fig. 6). Die meist licht-rotbräunliche Färbung dieser Schlieren und Bänder rührt durchgehends her von einer Anreicherung von Biotit und Granat.

¹⁾ Richtungslos körnig soll hier sowohl, als auch im Verlaufe der Abhandlung nur besagen, daß das Gestein frei ist von deutlichen Streckungserscheinungen und Kristallisationsschieferung. Daß auch das körnige Gestein trotz der vielleicht in großen Tiefen erfolgten Ausbildung in den meisten Fällen auch unter seitlichen Gebirgsdruck gestanden hat, das beweist, wie wir noch sehen werden, das gewöhnlich mehr oder weniger parallele Einstellen der zahlreichen in Auflösung begriffenen Schieferreste.

Noch dunklere, hornblende- und pyroxenhaltige Bänder sind äußerst selten und treten wohl nur als Schlieren im Kontakt mit hornblende- und pyroxenreichen Schiefen auf.

Der Bänderung folgt manchmal eine Bankung, und wo die Anreicherung des Glimmers die schiefrige Ausbildung begünstigt, kommt es schließlich zur Entstehung von ebenen, leicht ablösbaren Platten.

Als kristalline Schiefer, das ist als fremde, zum Teil kontaktmetamorphe Einlagerungen, müssen Bildungen angesehen werden, die deutlich vom Granulit unterschieden sind und von letzterem wohl injiziert, aber nur schwach durchtränkt werden. Im großen wurden solche beobachtet im Steinbruch bei Granz (Fig. 10) und in etwas verwittertem Zustande in der Böschung bei Kilometer 50·0, während eine gabbroide, vom Granulit durchsetzte Einlagerung wahrscheinlich keine kontaktmetamorphen Einwirkungen erlitten hat (Fig. 9).¹⁾ Im kleinen sind derartige Einschlüsse schön zu studieren an den zum Bahndamm gegen die Landstraße verwendeten großen Quadern, sowie an zahlreichen Handstücken.

Die im Granulit aufsetzenden Ganggesteine wurden schon erwähnt. Was von den aplitischen und pegmatitischen Gängen und Adern dem Granulit und was dem späteren Granit zuzuschreiben ist, wird sich bei der sehr abweichenden Natur beider Gesteinsarten sicher entscheiden lassen. Einige sicher granulitpegmatitischen Bildungen, wenn man überhaupt den Ausdruck gebrauchen darf, sollen unten zur Sprache kommen.

Die lamprophyrischen Gesteine, meist Kersantite (Fig. 10) gehören zweifellos zum granitischen Gangfolge. Desgleichen ein saurer Porphyrit oder Granophyr, der bei Kilometer 50·5 dieselbe Kluft mit einem Kersantit teilt.

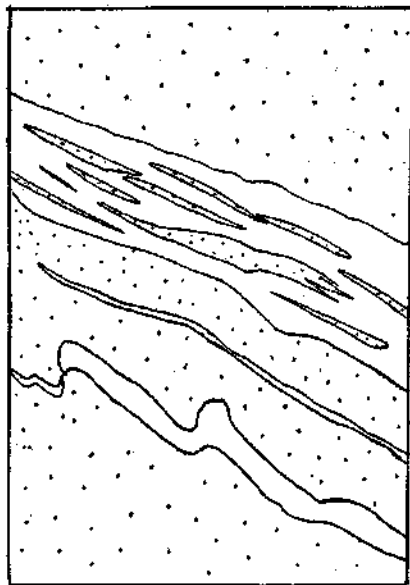


Fig. 1. Helle granulitische Adern, zum Teil ptygmatisch gefaltet, im mehr hybriden Granulit. Breite etwa 1 Meter.

2. Der normale Granulit.

Wie schon erwähnt, tritt der Granulit in reichem Wechsel auf; daß gilt schon für das normale Gestein. Neben ganz allmählichen Übergängen von licht und dunkel kommen auch ganz schroffe vor, eine Erscheinung, die man auch anderswo bei den Granuliten gewohnt ist. Auch was die Textur angeht, kann man alle Abstufungen beobachten. Rein massige Ausbildung ist gar nicht selten, wengleich sie gegenüber der mehr gebänderten stark zurücktritt. Das Korn wird dabei zuweilen etwas gröber. Wir haben dann mehr oder weniger Gesteine vor uns, wie sie F. E. Sueß von Emmersdorf a. d. Donau beschreibt,

¹⁾ Siehe Fußnote S. 163.

wo die körnige Struktur das gewöhnliche ist und Paralleltexur anscheinend so gut wie ganz fehlt. Gerade in solchen Gesteinen findet man sehr weiße, aplitähnliche Lagen, in denen nur vereinzelt ein Biotit-schüppchen oder Granatkörnchen anzutreffen ist. Wenn der rötlich-braune Glimmer zunimmt, bildet er leichte Flecken oder er reichert sich in unbestimmt umgrenzten Zügen an.

Dem Biotit gesellt sich öfters der als Antistreibmineral geltende Sillimanit zu, der mit ersterem zusammen gewundene Flasern bildet; diese erscheinen auf den unregelmäßigen Flächen des Hauptbruches als Fibrolithüberzüge. Nicht selten legen sich die bis 3 Zentimeter langen Sillimanitnadeln zu Büscheln zusammen, ohne daß man im Handstück eine Orientierung wahrnimmt. Die meist kleinen Granatkörnchen erreichen hie und da Erbsengröße, während die Zyanitkriställchen bis zu mehreren Millimetern anwachsen. Jedenfalls ist der Wechsel auch in der Mineralführung sicher viel größer als nach Sueß' Beschreibung bei Emmersdorf.

Das mikroskopische Bild dieser richtungslos-körnigen Gesteine stimmt im wesentlichen überein mit dem der Granulite von Emmersdorf, besonders was das Verhalten der Hauptgemengteile Quarz und Orthoklas betrifft. Dort bildet der Quarz nach Sueß „rundliche und stumpfeckige Körner und Körnergruppen, während der Orthoklas gern hohlgeformte Umrise annimmt, sich spitzwinkelig zwischen die Fugen der Nachbarkörner drängt oder auch in Form ganz kleiner, unregelmäßiger Lappen die Zwischenräume füllt“ (25, S. 394). Hinzuzufügen ist noch, daß der Quarz öfters gerundete Einschlüsse im Feldspat bildet, desgleichen im Granat. Sodann tritt der Perthit meist in viel größerer Ausbildung auf. Zwar bilden die Plagioklaseinlagerungen auch gerundete und elliptische, oft äußerst feine Körperchen, die manchmal an Myrmekit oder Mikropegmatit erinnern; dann beschränken sich die Verwachsungen oft auf einen kleinen Teil des Orthoklases. Das Gewöhnliche jedoch ist, daß die Einlagerungen mit dem Kalifeldspat ein so grobfaseriges Gewebe bilden, daß man zuweilen im Zweifel sein kann, welcher von beiden in größerem Maße an der Verwachsung beteiligt ist. Aber selbst wenn der Plagioklas vorherrschen sollte, so könnte man trotzdem wohl nicht von Antiperthit sprechen, da doch der Plagioklas den Eindruck der Eindringlings macht. Eine Beziehung zu irgendwelcher Druckrichtung ist bei dem Fehlen von Streckung im Gestein vollständig ausgeschlossen.

Der Plagioklas ist gewöhnlich ein saurer Oligoklas ($\perp a 4-7^\circ$, $\perp c 13-14^\circ$, $\beta < \omega$).

Der Granat erscheint meist in formlosen Lappen oder Umwachsungen von Quarz und Feldspat und ist von allen möglichen Einschlüssen erfüllt. Besonders die größeren Granaten, die nicht selten, wenigstens teilweise, deutliche Kristallumgrenzung erkennen lassen, führen als Einschlüsse Quarz, Perthit, Plagioklas, Biotit, Disthen und Rutil. Der Perthit ist gewöhnlich von einem schmalen Rand von Plagioklas umgeben. Wir werden bei der Frage nach der Entstehung des Perthits auf diese Erscheinung zurückkommen. Besonders bemerkenswert ist das Auftreten von zahlreichen gesetzmäßig orien-

tierten, äußerst feinen Rutilnadelchen, analog dem Sagenit im Biotit. Dieselben erreichen bis 0.8 mm Länge und folgen der Richtung der Spaltbarkeit nach dem Rhombendodekaeder, laufen also bei günstigen Schnitten den Kristallumrissen parallel (Fig. 2). Es scheint, daß auch innerhalb der Perthiteinschlüsse dieselben Rutilkriställchen wenigstens annähernd die gleiche Richtung beibehalten. Neben diesen gesetzmäßigen Einlagerungen trifft man im Granat auch Rutil in größeren Kriställchen; sie folgen keiner Regel. Eigentümlich ist, daß die orientierten Rutileinlagerungen den kleineren Granaten fehlen. Gerade diese sagenitähnlichen Einlagerungen scheinen gegen ein kristalloblastisches Wachstum und für eine gleichzeitige Entstehung von Granat und Rutil zu sprechen, besonders wenn man sich die äußerst schlechte natürliche Spaltbarkeit des Granats vor Augen hält. Man wird dabei wohl an einen Zerfall des TiO_2 -haltigen Granats im Augenblick der Kristallisation zu denken haben.

Der rotbraune Biotit, der meist in kleinen Schüppchen auftritt, legt sich, wo er grobschuppiger wird, gern an den Granat an oder wächst in denselben hinein, so daß man versucht wird, zu glauben, er sei aus diesem entstanden. Daß letzteres möglich ist, besonders bei Druckbeanspruchung, kann bei der nahen chemischen Verwandtschaft beider nicht bezweifelt werden, und Scheumann hat dafür den Beweis erbracht. Daß der den Granat umgebende Biotit aber sicher oft ursprünglich und mit dem Granat gleichzeitig entstanden ist, dafür zeugen die Mineralien, die den Biotit des öfteren begleiten, Sillimanit und Graphit. Nach derselben Richtung weisen die Beobachtungen Sueß', wonach häufig ein Saum von Feldspat den Biotit vom Granat trennt. Lepsius (14, S. 144) hielt denn auch den Biotit im Granulit für eine Urausscheidung desselben.

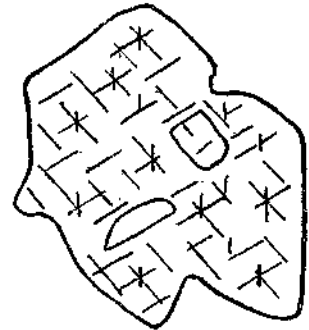


Fig. 2. Granat im Granulit, zum Teil mit Kristallumgrenzung mit sehr feinen Rutileinlagerungen parallel den Rhombendodekaederflächen, und mit Einschlüssen von Perthit mit Plagioklasrand. Etwa hundertfache Vergrößerung.

Der Graphit, der bisher aus Granuliten anscheinend noch nicht bekannt geworden ist,¹⁾ wurde in vielen Schliften beobachtet, nachdem sein Auftreten an einer ganzen Anzahl von Gesteinen zuvor unter dem stereoskopischen Mikroskop mittels der Präpariernadel unzweideutig nachgewiesen war. Er bildet hie und da feine Täfelchen, meist aber unregelmäßige Fetzen und Schüppchen. Vor allem kommt er in der Umgebung von kohlenstoffhaltigen Resorptionsresten vor. Wir werden dem Graphit in den Granuliten noch öfters begegnen und dabei Gelegenheit haben, auf seine Bedeutung für die Frage nach der Entstehung des Granulits hinzuweisen.

Die übrigen Mineralien sind die gewöhnlichen: Zyanit, Sillimanit, Rutil und wenig Zirkon und Apatit, während Eisenerz meist nur in Spuren vorkommt.

¹⁾ Nach freundlichen Mitteilungen von Herrn Dr. Scheumann-Leipzig wurde der Graphit auch in Sachsen an einer Stelle in hybriden Granuliten gefunden.

Auf die stellenweise starke Anreicherung dieser sogenannten akzessorischen Mineralien werden wir noch zu sprechen kommen.

Von dem richtungslos-körnigen Granulit gibt es natürlich alle möglichen Übergänge. Es entwickeln sich zunächst schlierige Varietäten mit reichlicherem Biotit- und Granatgehalt, aber immer noch ohne deutliche Anzeichen von Streckung, und endlich ausgesprochen schiefrige oder plattige Gesteine. Letztere sind wohl das Ergebnis einer Erstarrung unter Druck oder doch im Anschlusse daran. Zugunsten dieser Auffassung sprechen die gerade hier besonders schön und groß ausgebildeten Myrmekite, die ja auch sonst den Granuliten selten fehlen. In solchen Gesteinen sind die meisten Mineralien stark gestreckt. Besonders der Quarz ist zu platten, linsenförmigen Körpern zerdrückt, die im Längsschnitt als lang ausgezogene Stengel erscheinen.

Wenn Grubenmann (8, S. 148, 153) die Granulite als kristalline Schiefer nach der Tiefenstufe einteilt in „biotitarne Kata-Orthoklasgneise“ und „biotitarne Meso-Orthoklasgneise“, so ist dazu zu bemerken, daß hier beide Arten, richtungslos-körnige und schiefrige Gesteine, auf engem Raum nebeneinander vorkommen, somit an Tiefenunterschiede nicht gedacht werden kann.

3. Die granulitischen Mischgesteine.

Es wurde bereits hingewiesen auf eigentümliche größere und kleinere Schlieren, die das nur wenig dunklere granulitische Gestein durchaus nicht immer parallel durchziehen und bändern und häufig gleich den Aplitadern im Gneis pygmatisch gefaltet sind (Fig. 1, 4). Man kann bei derartigen Erscheinungen nicht an Differenzierungen im granulitischen Magma denken, an weitgehende magmatische Zerspaltung, wie das vielfach geschieht (34, S. 51). Es ist keine Entmischung, die hier stattfindet, sondern das gerade Gegenteil. Die beobachteten Tatsachen drängen geradezu zur Annahme eines Mischungsvorganges, wobei allem Anscheine nach ein sehr saures und kalireiches Magma in tiefgelegene Gesteinsmassen von wechselnder Zusammensetzung eindringt und sich mit ihnen vermischt, indem es dieselben in verschiedenem Maße aufschmilzt und sich assimiliert. Das scheint klar hervorzugehen aus der Betrachtung einiger Handstücke aus dem bei Granz gewonnenen Kleinschlag, aus dem man noch manches schöne Material zur Bestätigung der obigen These erwarten darf.

Die unvollkommenste Art der Mischung stellt die unregelmäßige Injektionsader dar. Ein schönes Beispiel für diesen Vorgang sehen wir in dem Handstück, das Fig. 3 wiedergibt. Anstehend wurde das Gestein nicht angetroffen; vielleicht ist es auch nur einer von den zahlreichen Resten resorbierter Schiefereinschlüsse im Granulit; doch das ist vorläufig weniger von Belang. Der mittlere Teil der Figur zeigt das Handstück von vorn, rechts und links von den Seiten. Die intrusive Art der granulitischen Adern kann kaum deutlicher zum Ausdruck kommen. Ganz unregelmäßig fressen sie sich in das etwas schiefrige biotitreiche Kontaktgestein hinein. Das ist vor allem schön auf den Seiten zu sehen, wo die Adern und Äderchen sich teils innerhalb der

Schieferungsflächen auskeilen, teils noch willkürlichere Formen annehmen. Dabei sind die Ränder noch viel weniger scharf, als man es zur Darstellung bringen kann. Von hier aus dringen nicht nur allerfeinste Äderchen in die minimalsten Fugen ein, sondern der Granulit selbst belädt sich auch mit losgelösten Teilchen desselben in Form von kleinen Glimmerputzen und -fasern. Das ganze stellt somit die unvollständige, gleichsam unterbrochene „Granulitisierung“ des Biotithornfels dar. Letzterer wird zu einem „Granulithornfels“, das ist ein Gestein, das weder das eine noch das andere ist, sondern ein Zwischending, ein „Mischgranulit“, für den man den von F. E. Sueß geprägten Ausdruck „Hornfelsgranulit“ (24, S. 631 ff.) beibehalten sollte, hat er doch tatsächlich von beiden etwas.

Unter dem Mikroskop zeigt die größere Granulitader die normale Zusammensetzung und Struktur mit Perthit, Quarz, Plagioklas, Granat,

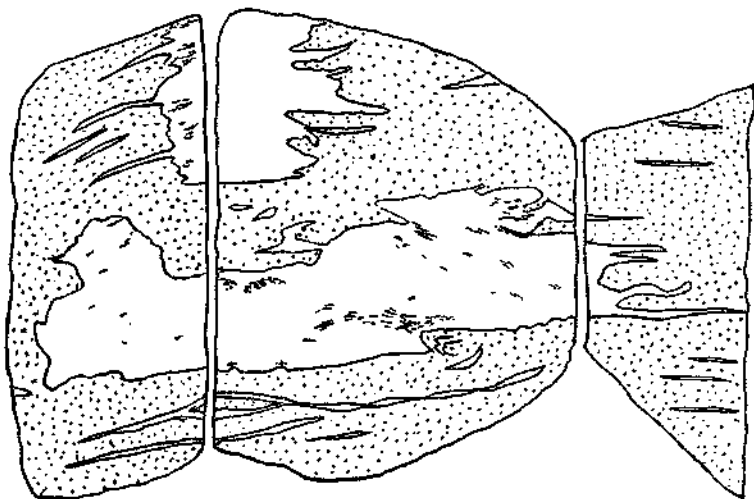


Fig. 3. Unregelmäßige Injektionsadern im Granulithornfels; in der Mitte das Handstück von vorn gesehen ($5\frac{1}{2} \times 7$ cm), rechts und links von den Seiten.

Zyanit, Biotit, Rutil und wenig Apatit. Der Biotit ist etwas großblättriger ausgebildet als gewöhnlich und stammt zweifellos aus dem Biotitfels.

Die Grenzen zwischen beiden Gesteinsarten sind ganz unbestimmt, sie gehen ganz allmählich ineinander über.

Der Granulithornfels enthält im wesentlichen dieselben Mineralien wie der Granulit, nur in anderen Mengenverhältnissen. Es kommen noch dazu Spuren von Graphit. Daß der Biotit stark überwiegen muß, ist klar. Derselbe ist parallel geordnet entsprechend der schon mit bloßem Auge erkennbaren Schieferung, obwohl Streß sonst nicht wahrzunehmen ist. Diese Schieferung muß offenbar schon vor dem Eindringen der Adern bestanden haben. Auch hier schwimmen die feinsten granulitischen Äderchen auf das vollkommenste mit ihrer Umgebung, nur der Wechsel im Biotitgehalt deutet sie im Dünnschliff an. Man darf daher wohl ohne Gefahr den Perthit des Granulithornfels als aus dem granulitischen Magma stammend ansehen, mit dem ersterer auf allerfeinsten Poren durchtränkt wurde. Da somit ein Stoffaustausch stattgefunden hat, so liegt ohne weiteres die Vermutung

nahe, daß der Tonerdegehalt der Übergemengteile des Granulits seinen Ursprung im Schiefer hat. Wir werden im Verlauf unserer Betrachtung noch sehen, daß diese von Lepsius ausgesprochene Vermutung das höchste Maß von Wahrscheinlichkeit für sich hat. Dann aber wäre der normale Granulit schon seiner Natur nach ein hybrides Gestein, und es müßten die verschiedensten Grade der Mischung möglich sein.¹⁾

Das letztere wird gut beleuchtet durch das in Fig. 4 dargestellte Handstück, auf das bereits hingewiesen wurde wegen der ptygmatisch gefalteten Ader.

Der helle Weißstein mit wenig Biotitfasern und nur vereinzelt kleinen Granaten wird weiter oben abgelöst von einem ungleich breiten, wenig dunkleren Band von mehr grauer Farbe. Darin befindet sich die helle, fast biotit- und granatfreie Ader. Außerdem gewahrt man bei

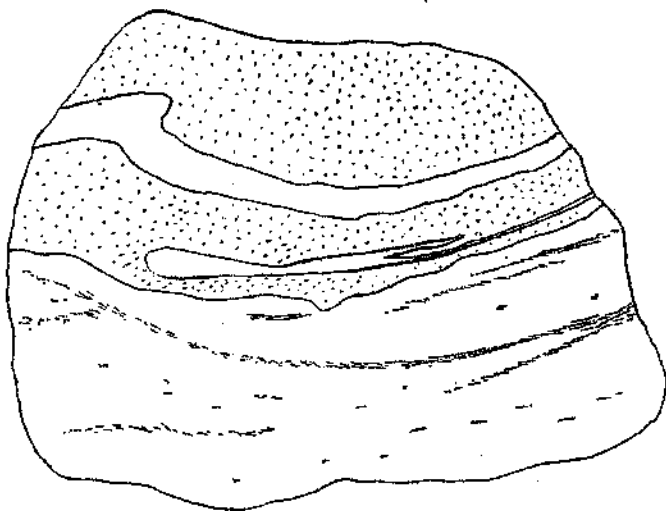


Fig. 4. Oben Partie mehr hybriden Granulits mit hellen granulitischen Adern, ptygmatisch gefaltet. Handstück 8×11 cm.

genauerem Zusehen noch viele feine, helle Schlieren und mehr oder weniger parallele Äderchen, die im allgemeinen mit der größeren Ader im gleichen Sinne verlaufen. Man darf nun diese schwach dunkelgraue Partie bestimmt nicht mehr als Hornfels ansprechen. Zwar kommt die ursprüngliche Schiefersubstanz noch in der Anordnung und Verteilung der Mineralien Biotit, Granat, Sillimanit und Graphit deutlich zum Ausdruck; das mikroskopische Strukturbild jedoch läßt die charakteristischen Eigenschaften typischer richtungslos-körniger Granulite erkennen. Solche Gesteine kommen anderswo gewiß in größeren Massen vor, und niemand würde dann an ihrer echten granulitischen Natur zweifeln. Hier aber tritt wegen des Gegensatzes der auf engstem Raum zwischen den dunkleren und helleren Teilen, beziehungsweise Adern herrscht, der Charakter eines solchen Granulits als Mischgestein klar zutage. Wenn wir schon beim Hornfelsgranulit sahen, daß derselbe höchst wahrscheinlich Bestandteile aus dem Granulit aufgenommen

¹⁾ Auf eine Einschränkung werden wir S. 168 zu sprechen kommen.

haben muß, so wird das hier für das Gestein als Ganzes noch mehr zutreffen. Tatsächlich zeigt die mikroskopische Untersuchung im helleren und im dunkleren Granulitkommen keinen anderen Unterschied als im quantitativen Verhältnis der Gemengteile, das ist im höheren Gehalt an Biotit, Granat, Disthen usw. Es ist somit die Annahme durchaus begründet, daß zum wenigsten ein großer Teil der Granulite hybride Gesteine sind, hervorgegangen aus der Auflösung und Durchdringung von sedimentärem Material vornehmlich von Tonschiefern und tonigen Sandsteinen.¹⁾ Denn diesen Mischungsvorgang kann man unzählige Male im kleinen verfolgen, da kaum eine etwas dunklere Lage im Granulit frei ist von solchen feinen Schlieren von injiziertem Material. Und was im kleinen vor sich geht, das sehen wir auch im großen, wofür die in Figur 1 dargestellten Verhältnisse ein schönes Beispiel liefern. Es kann kaum noch zweifelhaft sein, daß hier neues saures Magma in die teigige Masse der mehr hybriden Granulite eingedrungen ist, um weiter auflösend und umgestaltend in die chemischen Verhältnisse einzugreifen.

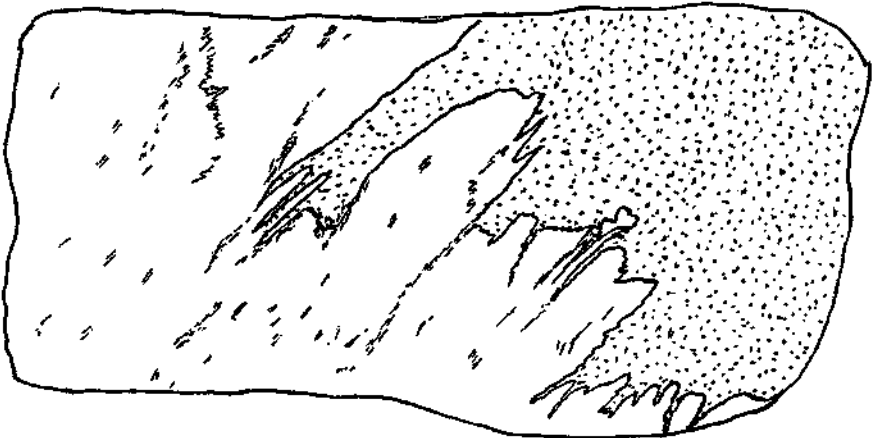


Fig. 5. In Auflösung begriffener Biotithornfels. Größe 5×10 cm.

4. Einschlüsse im Granulit.

Es wurde bereits als wahrscheinlich hingestellt, daß der Granulit, auch wo er typisch auftritt, das ist als Weißstein mit den bezeichnenden Mineralien: Granat, Zyanit usw., schon im gewissen Sinne ein hybrides Gestein ist, das den Tonerdegehalt seiner Übergemengteile der Auflösung des Nebengesteins verdankt. Der häufig auftretende Graphit läßt diese Auffassung als durchaus begründet erscheinen. Es spricht zu ihren Gunsten aber auch die Form der zahlreichen im reinen Granulit schwimmenden und teilweise verschwimmenden, bald mehr, bald weniger vollkommen resorbierten Schiefereinschlüsse. Daß es sich in der Tat um solche handelt, darüber lassen Gestalt und Umrisse derselben keinen Zweifel.

Fig. 5 stellt einen in Auflösung begriffenen Biotithornfels dar. Das Handstück hat außerordentliche Ähnlichkeit mit einem bei Lehmann

¹⁾ Für die sächsischen Granulite hat Scheumann bereits auf der Tagung der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft in Göttingen 1921 ausgesprochen, daß dieselben in erheblichem Maße hybrid sind (22.).

abgebildeten „mit büschelig verzweigten Biotitflasern“ aus dem sächsischen Granulitgebirge (13, Taf. XIV 5). Schieferung zeigt der Biotitfels keine, ebensowenig wie der Granulit selbst. Ersterer besteht unter dem Mikroskop aus den Mineralien des Granulits, nämlich aus Perthit, Quarz, Biotit, Sillimanit, Granat, Rutil, Spuren von Graphit, außerdem etwas Antiperthit. Wegen des ziemlich reichen Gehaltes an Perthit wird hier eine Zufuhr stattgefunden haben, obwohl man keine hellen Äderchen oder Schlieren wahrnimmt.

Im richtungslosen Granulit deuten die losgelösten Biotitfläserchen eine Fließrichtung an. Daß wir es tatsächlich mit abgetrennten Teilchen zu tun haben, geht hervor aus ihrer Anordnung, die sie als Fortsetzung des stark zerfransten Biotitfels erkennen läßt.

Das erhellt noch besser aus der Betrachtung des Dünnschliffes. Da sieht man, wie die äußersten Spitzen und Fransen nur mehr aus

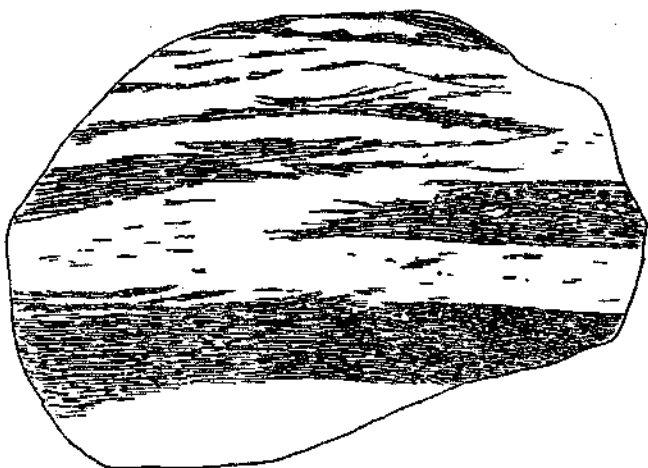


Fig. 6. Aufgeblätterter und zeretzter Schiefereinschluß, stark durchtränkt und granulitisiert: hybrider Granulit. Handstück 10×15 cm.

größeren, gleich gerichteten Biotitlamellen bestehen, während die übrigen Bestandteile jedenfalls dem Granulit einverleibt wurden.

Weiter fortgeschritten ist der Auflösungsprozeß bei der in Fig. 6 abgebildeten Probe. Obwohl die einstigen Schiefertheile an ihrer eigentümlich aufgeblätterten, zerrissenen und zeretzten Form noch gut zu erkennen sind, ist die Durchtränkung und Resorption viel weiter gediehen. Diese Partien enthalten wohl mehr Granat und Biotit, gewöhnlich in ziemlich feiner Ausbildung, aber die Farbe ist doch sehr licht fast wie in manchen hellen Granuliten. Niemand, der dieses Stück vorurteilslos betrachtet, wird hier an Differenzierung im Magma denken. Die heller sowohl wie die mehr grauen Partien sind wirklich Granulit, letztere nur unterschieden durch den etwas höheren Gehalt an Tonerde-mineralien, die die letzten Überbleibsel des ursprünglicher Schiefers darstellen.

Letzteres wird noch deutlicher aus der Betrachtung des folgenden überraschend lehrreichen Handstückes (Fig. 7). Hier sind die Schieferpartien vor der endlichen Verfestigung des Granulits noch bewegt und stark verknetet worden, wobei der Zusammenhang der einzelnen Teile gestört

wurde. Daß diese Vorgänge sich im noch plastischen Gestein abspielten, wir mithin einen präkristallinen Tektoniten im Sinne Sanders vor uns haben, beweist zunächst das Fehlen jeglicher Kataklyse und Streckung. Der Granulit ist so richtungslos wie nur möglich. Die ursprünglichen Schieferfetzen aber sind so stark umgewandelt und granulitisiert, daß sie auch im Dünnschliff nur noch an der Anordnung der Gemengteile, vor allem des Biotits und des Granats, zu erkennen sind. Dabei ist auch die ursprünglich sicher vorhanden gewesene Schieferung oder Schichtung vollständig verwischt worden. Nicht einmal der ziemlich grobschuppige Biotit hält eine Richtung ein, sondern ist regellos verteilt. Der Graphit ist auch hier wieder der untrügliche Zeuge des ursprünglichen, kohlenstoffhaltigen Sediments. Er findet sich nicht nur



Fig. 7. Granulitisierte Schieferreste im hellen richtungslosen Granulit, vor der endgültigen Verfestigung zerrissen und verknetet (10×17 cm).

in den Schieferresten, sondern auf gleiche Weise auch im Granulit, ein Beweis dafür, daß letzterer Bestandteile des ersteren aufgenommen hat.

Ein weiteres Stück (Fig. 8) zeigt neben sehr weitgehender Auflösung und Durchtränkung der sedimentären Einschlüsse oben-dreien wieder klar den hybriden Charakter auch eines recht lichten körnigen Granulits. Der Haupteinschluß des Schiefers hat, von der einen Seite gesehen, die Gestalt einer liegenden, überkippten Falte. Er ist stark mit Granulit durchsetzt, nicht wie gewöhnlich in Form von feinen, parallelen Schlieren, sondern unregelmäßig, so daß der Einschluß in der angeschliffenen Platte fast einem Diorit ähnlich sieht. Links deuten Schnüre von Biotit und Granat, die wie Quasten oder Fransen in den Granulit hineinragen, die aufgeblättern und metamorphosierten Schieferlagen an, während oben rechts noch ein stark granulitisierter Schieferrest allmählich in den hellen Granulit übergeht. Wiederum ist der Unterschied zwischen Granulit und granulitisiertem Schiefer nur im Mengenverhältnis der Mineralien begründet. Den

Granulit selbst durchziehen richtungslos, zum Teil gestaucht, zahlreiche sehr weiße granulitische Äderchen, die mit der ganz wenig graueren Grundmasse innig verwoben und verschweißt sind. Diese durchaderte Partie zwischen den unvollständig aufgelösten Schieferteilen beweist unwiderleglich nicht nur den hybriden Charakter des Granulits, sondern auch die Ursprünglichkeit seiner Struktur, bei der jede Streckung oder Kristallisationsschieferung fehlt. Die pygmatische Fältelung der weißen Äderchen aber stellt es außer Zweifel, daß diese in die noch heiße, plastische Masse eindringen und daß mit ihrer Kristallisation die Bewegungen im Gestein abgeschlossen waren.

Daß in unserem Granulit, im Vergleich zu anderen, z. B. in Sachsen, die Bewegungen meist sehr gering waren, bezeugen größere aufgeblätterte Einschlüsse, deren einzelne Lagen radialstrahlig von einem

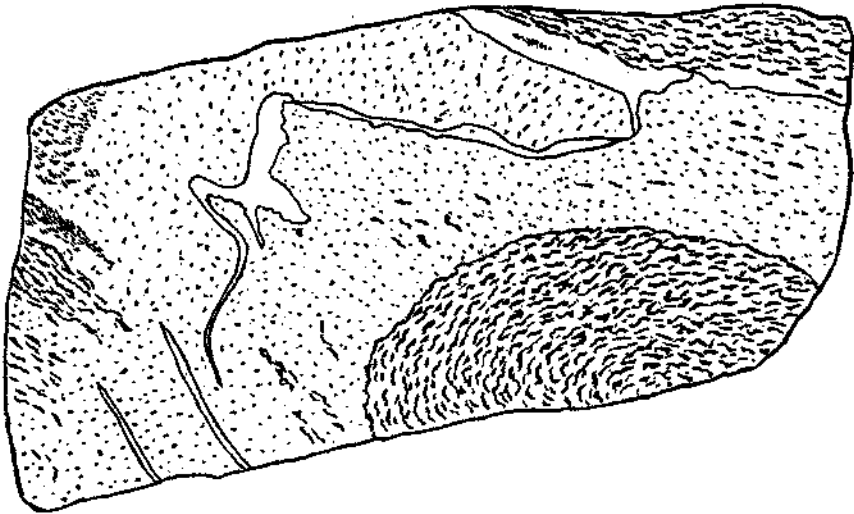


Fig. 8. Gefaltete zerrissene Schieferreste, stark granulitisiert, im hybriden Granulit. Letzterer wird wieder von hellen, pygmatisch gefalteten Granulitadern durchzogen (7 × 15 cm)

Punkte ausgehen, vergleichbar mit den aufgeschlagenen Seiten eines Buches (Fig. 11). Ein großer Block am Bahndamm bei Granz zeigt das sehr schön. Die zusammengehörenden Schieferlagen sind bis über 30 cm lang und verlaufen absolut gradlinig. Im richtungslos körnigen hellen Granulit ist eine Fließrichtung wenigstens angedeutet. Ihr folgt in einiger Entfernung links ein kleiner Schieferfetzen, während in dem Haupteinschluß das Fließen im Magma anscheinend nur gereicht hat, die Schieferlagen abzulösen und ein wenig um einen Scheitelpunkt zu drehen. Das nämliche beobachtet man nicht selten im kleinen. Zwei in gleicher Weise aufgeblätterte Einschlüsse sind besonders graphitreich. (Fig. 11—16, siehe Seite 167.)

Im übrigen sind die Mineralien der umgewandelten und granulitisierten Einschlüsse fast immer die gleichen: Perthit, vereinzelt auch Antiperthit, Quarz, Plagioklas, sodann die tonerdehaltigen Mineralien Granat, Biotit, Disthen, Sillimanit, ferner Graphit, meist sehr reichlicher Rutil und wenig Apatit, während Eisenerze im allgemeinen keine große Rolle spielen.

Vereinzelt sind graphitreiche Einschlüsse trotz der feinen, deutlichen granulitischen Lagen wohl stark metamorph, aber weniger granulitisiert, so daß auch in der Struktur der Gegensatz klar zum Ausdruck kommt.

Die Fig. 12 bis 15 geben noch eine Anzahl der interessantesten Formen von Einschlüssen wieder, die man an den Quadern des erwähnten Bahndammes bei Granz studieren kann.

Besonders sei auf das in Fig. 12 wiedergegebene Stück aufmerksam gemacht. Es hat manche Ähnlichkeit mit einem von Danzig beschriebenen von Schönfeld in Sachsen (6, S. 32). Nach ihm kommen dort Schieferschollen in großer Zahl vor und von wechselnder Größe, kleine von nur wenigen Zentimetern bis zu solchen von mehreren Metern. Unser Stück zeigt, wie auf einem Querbruch der helle Granulit durchsetzt, während er unten rechts auch noch zwischen die gelockerten Schichtfugen eindringt.

Andere Einschlüsse wurden allem Anscheine nach durch fließende Bewegungen teils zerfetzt, teils gestaucht.

Ofters wechsellagert der Granulit mit dunklen Schieferteilen, wodurch eine gleichmäßige Bänderung zustande kommt. Dabei schwankt die Mächtigkeit der granulitischen Lagen von mehreren Millimetern bis zu einigen Zentimetern. Daß die Schieferlagen nicht immer durchhalten, sondern nach der Seite oder nach der Tiefe auskeilen, sieht man gelegentlich an vorspringenden Teilen der Blöcke (Fig. 13).

Ganz in der nämlichen Weise wie nach E. Danzig bei Schönfeld in Sachsen, wo „der Granulit . . . in ersichtlich noch mit dem Hauptgestein zusammenhängenden dünnen Lagen und Schnüren unter flachem Winkel gegen die Schichtung in die Schiefer eindringt, wobei nicht selten die vom Granit her bekannte perlschnurartige Aneinanderreihung kleiner Linsen injizierten Materials zu beobachten ist“ (6, S. 31), sind auch hier die Schiefereinschlüsse meist sehr stark granulitisiert.

Aber auch der im übrigen helle und typische Granulit wird offensichtlich von den Schiefereinschlüssen beeinflußt, indem die Tonerdemineralien sich in ihrer Nähe oft außerordentlich häufen, besonders die für die Granulite so bezeichnenden, Granat und Zyanit. Daß diese Mineralien neben Biotit in den zum größten Teil aufgelösten und fast verflüchtigten, das ist granulitisierten Schieferresten besonders reich vertreten sind, ist leicht erklärlich. Aber auch in der unmittelbaren Umgebung der scheinbar manchmal weniger eingeschmolzenen Einschlüsse sind die genannten Mineralien oft so reichlich vorhanden, daß die Bruchflächen förmlich wie damit gespickt erscheinen. Zuweilen reichert sich der Granat, oft in großen idiomorphen Kristallen, neben den Einschlüssen so an, daß man kaum mehr zweifeln kann, daß er das wieder auskristallisierte Auflösungsprodukt des tonerde-reichen Schiefers darstellt. In solchen Granatkristallen wurde besonders schön die erwähnte orientierte Verwachsung mit Rutil beobachtet (S. 5).

Diese Beobachtungen sind von großer Bedeutung für die Frage nach der Herkunft der Übergemengteile im Granulit, vor allem der tonerdehaltigen Mineralien wie auch des so häufigen Rutils. Entstammen diese den aufgeschmolzenen Schiefern, dann hat der Granulit tatsächlich große Massen fremden Gesteins in sich aufgenommen, und er ist seiner Natur nach ein hybrides Gestein, ein Mischgestein.

5. „Pegmatitische“ Schlieren.

Pegmatitische Schlieren im eigentlichen Sinne scheinen dem Granulit, soweit die Beobachtungen reichen, zu fehlen; sie scheinen im Widerspruch zu stehen zur Natur des granulitischen Magmas. Echte Pegmatite, die auch vorkommen, gehören wohl sicher zum Gangfolge des späteren Granits. Als pegmatitische Schlieren sollen hier nur abweichende Bildungen verstanden werden, die sich deutlich von dem normalen Gestein unterscheiden, zum Teil sich als spätere Nachschübe darstellen.

Im Steinbruch bei Granz liegt dicht an der großen, steilen Wand ein abgestürzter Block, über einem Meter lang und breit (Fig. 16). An der einen Seite haftet noch ein Stück Schiefer vom Kontakt, während die andere Seite die Grenze gegen einen Kersantitgang bildet. Auf der Oberfläche dieses Blockes treten eigentümliche Wülste von unregelmäßigem Bruch hervor, die mit dem übrigen Gestein aufs engste verwoben sind; sie laufen dem Schieferkontakt parallel. Hier hat der Granulit offenbar eine andere Zusammensetzung. Auf den ersten Blick glaubt man ein Gestein von pegmatitisch grobem Korn vor sich zu haben. Doch ist das nur scheinbar. Es tritt aber eine gewisse schlierige Beschaffenheit schon im Handstück hervor parallel den angrenzenden Schiefen. Das Gestein ist sehr licht und führt nur wenig farbige Mineralien. In der untersuchten Probe steckt überdies noch eine gleich verlaufende Linse von abweichender Zusammensetzung und verschiedenem Korn.

Mikroskopisch erkennt man als Ursache der ungleichen Beschaffenheit der „pegmatitischen“ Schlieren zunächst die bedeutend grobkörnigere Ausbildung. Die eigentümliche, schlierige Beschaffenheit aber rührt her von größeren, ausgezogenen Quarzpartien, wie sie bei unter Druck erstarrten aplitischen oder pegmatitischen Gesteinen nicht selten sind.

Die Bestandteile sind außer Quarz: Orthoklas, Plagioklas, Biotit (meist chloritisiert), Granat, Rutil, Apatit und Graphit. Perthit scheint ganz zu fehlen trotz der offenkundigen Druckwirkungen, die sich in der Streckung der gesonderten Quarzlagen offenbart. Plagioklas, wie gewöhnlich in den untersuchten Granuliten ein saurer Oligoklas, kommt viel reichlicher vor, während der Graphit unregelmäßige Schüppchen bildet.

Daß die besprochenen Schlieren wirklich zum Granulit gehören und nicht etwa als spätere granitische Injektionen gedeutet werden können, das wird absolut sicher aus der erwähnten, linsenförmig abgeschnürten Ader, die wieder unzweideutige granulitische Merkmale aufweist.

Hier ist das Gestein allerdings stark zersetzt, der Plagioklas meist getrübt und erfüllt von Serizit und Epidot, der Biotit chloritisiert und baueritisiert. Pseudomorphosen von klarem Glimmer scheinen aus Disthen hervorgegangen zu sein. Die Granaten zeigen sämtlich die Spuren eines gerichteten Druckes senkrecht zur Längserstreckung der Linse. Sie sind netzartig durchsetzt von grünlichem Biotit, dessen Maschenfäden vornehmlich in der Richtung des geringsten Druckes verlaufen. Hier begegnen wir zum ersten Male auch dem Titanit, der in den eigentlichen Granuliten nie beobachtet wurde, da er immer durch Ruti

vertreten wird. Neben unregelmäßigen großen Körnern von Titanit findet sich auch ein bedeutender Gehalt an Rutil, teils in unregelmäßigen Körnern, meist jedoch in kleineren und größeren Kriställchen. Auch der Graphitgehalt ist nicht unbedeutend. Perthit läßt sich bei dem erwähnten schlechten Erhaltungszustand nicht nachweisen.

Dasselbe Gestein, in genau derselben Ausbildung, kommt noch an einer anderen Stelle vor. Bei Kilometer 50·5 treten auf einer Kluft, wie oben bereits geschildert, zwei Ganggesteine auf, ein basisches und ein saures. Zwischen diesen steckt in der Mitte ein Brocken von mitgerissenem granulitisierten Schiefer mit granitischem Pegmatit und dem besagten Gestein als Gangbildung.¹⁾ Die Mineralführung ist absolut die gleiche. Hier ist auch der typische Perthit des Granulits ziemlich reichlich vertreten. Der Graphit bildet Täfelchen, die im Längsschnitt wie Lamellen erscheinen.

Wegen des reichen Gehaltes an Rutil und Graphit kann es kaum zweifelhaft sein, daß es sich um ein stark hybrides Gestein handelt, das gangförmig auftritt, was durchaus zum bisher erkannten Charakter des Granulits paßt. Der formlose Titanit wird dem Schiefergestein entnommen und noch nicht in die im echten Granulit herrschende Titansäureverbindung mit kleinstem Volumen übergeführt worden sein. Eigentümliche Umwandlungserscheinungen, die sich durch feinschuppige Glimmermassen kundgeben und teils den Granat und den Disthen umranden oder auch Pseudomorphosen bilden, teils sich so häufen, daß die genannten Mineralien darin zu schwimmen scheinen, dürften späteren Prozessen ihr Entstehen verdanken und sind hier daher von untergeordneter Bedeutung.

6. Die Struktur der Granulite.

Aus den bisherigen Ausführungen geht zur Genüge hervor, daß unser Granulit ein Eruptivgestein ist, das nach seiner endgültigen Verfestigung irgendwelchen mechanischen Bewegungen von Bedeutung nicht mehr ausgesetzt gewesen ist. Wir sind absichtlich noch nicht auf die eigentümlichen Strukturen des Granulits zu sprechen gekommen. Aber gerade diese sind es, auf Grund welcher man den Granulit als ein metamorphes Gestein betrachtet wissen will. Speziell F. E. Sueß vertritt mit aller Entschiedenheit diesen Standpunkt, wenn er schreibt: „Die Parallelstruktur der Orthogneise (Gföhler Gneis) und Granulite ist gewiß keine fluidale Erstarrungsstruktur. Die dahin gerichteten Erklärungen für ähnliche Gesteine in Sachsen und im Schwarzwalde können nicht Bestand halten. Ihnen widerspricht bereits die rein granoblastische Schieferung ohne Kristallisationsfolge, welche die Orthogneise mit den Sedimentgneisen gemeinsam haben. Auch in der Ähnlichkeit der Ausbildung der Minerale, Form und Farbe der Biotite, Größe und Verteilung der Granaten und Sillimanite stehen beide Gesteinsreihen einander hinreichend nahe, daß eine gemeinsam wirkende Ursache bei der Erneuerung des Mineralbestandes angenommen werden muß.“ Er führt sodann die Beobachtungen Beckes an, der hinweist auf die unregel-

¹⁾ Die Partie ist neuerdings abgestürzt und entfernt worden.

mäßigen, an Splitter und Bruchstücke erinnernde Form der Plagioklase, die kaum direkt durch Erstarrung aus dem Schmelzfluß entstanden sein können, und der daher vermutet, daß zwischen der magmatischen Erstarrung und dem gegenwärtigen Zustande dieser Gesteine viele Veränderungen, Verschiebungen und Differentialbewegungen vor sich gegangen seien, während welcher die einzelnen Individuen in mannigfacher Weise zerbrochen und wieder durch Ausscheiden und Anpassen an die Nachbarn die vorliegende Form erhielten (29. S. 112).

Grubenmann dagegen, der ebenfalls den Granulit als ein umgewandeltes Gestein auffaßt und zu den kristallinen Schiefen rechnet, verhält sich der gegenteiligen Meinung gegenüber nicht ganz so ablehnend, er läßt vielmehr die Frage der ursprünglichen Entstehung der eigentümlichen Strukturen offen (8. S. 148). Er muß sogar zugeben, daß die Struktur oft an echte Aplite- und selbst Granitstruktur erinnert. Aus diesem Grunde nannte Weinschenk, der derartige Strukturen aus den Ceyloner Granuliten beschrieb und abbildete, die panidiomorph-körnige Struktur der Aplite wegen ihrer Ähnlichkeit mit der ungestörten der Granulite die „granulitische“, indem er sich anlehnte an die französische Bezeichnung „structure granulitique“ (35. S. 309, 33. Taf. Fig. 2).

In der Tat kommen auch in unseren Granuliten, besonders wo die gerundeten Quarzeinschlüsse im Feldspat auftreten, Strukturbilder vor, die man ohne Gefahr als die panidiomorph-körnige der Aplite bezeichnen darf. Abweichungen von dieser Struktur sind allerdings recht häufig, vielleicht sogar die Regel. Vor allem muß man F. E. Sueß vollkommen Recht geben, wenn er an den richtungslos-körnigen Granuliten von Emmersdorf die Beobachtung machte, daß der Kalifeldspat (Perthit) „gern hohlgeformte Umrisse annimmt, sich spitzwinkelig zwischen die Fugen der Nachbarkörner drängt oder auch in Form ganz kleiner unregelmäßiger Lappen die Zwischenräume ausfüllt“, was Sueß erklärt durch die „tiefere Stellung des Orthoklases in der kristalloblastischen Reihe“ (25. S. 394). Es fragt sich nur, ob diese aus der abweichenden Struktur sich ergebenden Schwierigkeiten derart sind, daß sie die Ursprünglichkeit dieser Strukturen ausschließen, oder ob es nicht doch Gründe gibt, diese Abweichungen als bei der Verfestigung entstanden zu erklären.

Was zunächst die aus dem von Sueß beobachteten Verhalten des Orthoklases sich ergebenden Schwierigkeiten angeht, so würden diese sogleich hinfällig werden, wenn man dartun könnte, daß der Granulit, im Gegensatz zum Granit, ein trockenes Magma darstellte, arm an Wasserdampf und anderen Gasen. Dafür scheinen, wie schon Becke (4. S. 194) bemerkte, in der Tat manche Anzeichen zu sprechen, wie die feinkörnige Ausbildung, der Mangel an eigentlichen Pegmatiten und Produkten der Pneumatolyse, das vollständige Fehlen von primärem Muskovit, die eigentümliche Mineralführung der granulitischen Kontaktgesteine (Spinell im Hornfelsgranulit, Diallag im „Diallaggranulit“, überhaupt Pyroxen in den Trappgranuliten) und das ganz andere Verhalten der granulitischen Injektionsadern. Dann hätte das spätere Auskristallisieren des Kalifeldspates allem Anscheine nach nichts Auf-

fälliges mehr, man müßte es unter normalen Verhältnissen sogar erwarten bei dem bedeutend niedrigeren Schmelzpunkte des Orthoklases gegenüber dem des Quarzes.

Bezüglich der angeführten Schwierigkeiten aus den Beobachtungen Beckes wird man zugeben müssen, daß dieselben zweifellos auch eine Erklärung durch Protoklase zulassen. Denn was sich später unter den hypothetischen Bedingungen der Dislokationsmetamorphose vollziehen konnte, das nämliche war auch möglich, wenn bewegter Druck auf das erstarrende oder eben erst erstarrte Magma einwirkte. Müssen doch die Vorgänge, die sich nach den Vorstellungen Beckes bei der Versenkung in große Rindentiefen abspielen, ganz ähnlich verlaufen, wenn ein Magma unter Druck erstarrt und dieser auch nach der teilweisen Verfestigung noch anhielt. Auch dann werden schon gebildete Mineralien, die in dem zähen Kristallbrei schwimmen, gestört und teils zerbrochen, teils gelöst werden; später werden diese Mineralien — es handelt sich hauptsächlich um Quarz und Feldspat — wieder verheilt oder ganz neu gebildet werden, wobei sich die Kristalle an ihre Umgebung anpassen müssen. Die Protoklase geht auf diese Weise über in die Protoblastese, bei der nach Milch „die ausgeschiedenen, noch in einem schmelzflüssigen Reste befindlichen Bestandteile sich den Differentialbewegungen anpassen“ (20. S. 298). Der Granulit wäre somit ein protoblastisches Gestein (M. Weber) zu nennen, und als solches scheint auch Milch den Granulit aufzufassen (20. S. 298).¹⁾

Zugunsten einer protoblastischen Entstehung der eigentümlichen Strukturen im Granulit läßt sich noch ein weiterer Grund anführen, nämlich der hybride Charakter der Granulite. Weber M. hat gezeigt (32. S. 10 ff.), daß durch Aufnahme von fremder Substanz aus dem aufgelösten oder eingeschmolzenen Nebengestein die Ausscheidungsfolge vielfach gestört wird. Er weist das im einzelnen nach an einer Reihe von Mischgesteinen aus dem bayrischen Wald; darunter ist auch eines, das er „Dioritgranulit“ nennt. Wenn man auch über die Berechtigung, das Gestein Granulit zu nennen, geteilter Meinung sein kann — es handelt sich wohl um einen granathaltigen Plagioplit —, so können wir seinen Schlußfolgerungen, daß der Granat nicht nur hier, sondern auch im echten Granulit dem durch die Auflösung des Nebengesteins bedingten Tonerdeüberschuß seine Entstehung verdankt, aus den oben angeführten Gründen nur bestimmen. Wenn das aber der Fall ist, d. h. wenn tatsächlich größere Massen sandiger und toniger Schiefer aufgeschmolzen und dem granulitischen Schmelzfluß einverleibt wurden, somit Kieselsäure, Alkali, Tonerde, Titansäure und sogar Kohlesubstanz in den Bestand

¹⁾ Ganz ähnliche Anschauungen werden auch von Koßmat und Scheumann vertreten nicht nur bezüglich der Erzgebirgsgneise, sondern auch in bezug auf die sächsischen Granulite. Besonders Scheumann hat die protoblastische Ausbildung der Granulitstrukturen, wenn auch in etwas verschiedener Weise, auf der Tagung der Deutschen Mineralogischen Versammlung in Göttingen 1921 ausgesprochen. Auch Tertsch (31) nähert sich in seiner Arbeit über die Granulite des Dunkelsteiner Waldes entschieden unserer Auffassung, indem er Paralleltexuren (Gewölhebau) durch Intrusionsdruck erklärt und die Ausprägung der eigentümlichen Strukturen in die Periode unmittelbar nach der Erstarrung verlegt.

des granulitischen Magmas eintraten, so mußte damit notwendig die natürliche Ausscheidungsreihe beeinflusst werden. Daher wird sich in demselben Maße die Struktur der kristalloblastischen nähern.

Nehmen wir alle diese Erklärungsmöglichkeiten zusammen, so werden aus den Strukturverhältnissen kaum noch ernsthafte Schwierigkeiten übrigbleiben, und man wird Milch beipflichten müssen, daß „unter der Einwirkung von Protoblastese und verwandten Vorgängen in Grenzfällen auch aus Schmelzflüssen vollkommen kristalloblastische, schieferige Gesteine entstehen können“ (20. S. 316).

Sueß scheint aber auch aus der Art und Beschaffenheit der Nebengemengteile, Granat, Zyanit, Sillimanit usw., seine Bedenken gegen die primäre Entstehung des Granulits herzuleiten, weil auch darin beide Gesteinsreihen, Ortho- und Paragneise, sich nahestehen sollen.

Dazu ist zunächst zu bemerken, daß neuerdings bekanntlich die Grenzen zwischen Ortho- und Paragneisen sich immer mehr verwischen, da zweifellos manche bisher als Orthogneis angesprochene Gesteine als Mischgneise einen Paraanteil in sich bergen und daher auch in Bestand und Ausbildung der Mineralien sich den Paragneisen nähern müssen. Das gilt wahrscheinlich, wenigstens zum Teil, vom Gföhler Gneis des niederösterreichischen Waldviertels, den Sueß erwähnt, und es gilt wohl sicher von unseren Granuliten, wie wir oben gesehen haben.

Betrachten wir kurz die hauptsächlichsten Mineralien. Was zunächst den Granat angeht, so kommt derselbe in absolut gleicher Ausbildung, mit Biotit vergesellschaftet, auch in zweifellos granitischen Ganggesteinen unseres Gebietes vor, und zwar in einem echten Granitaplit aus der Gegend von Sarmingstein, und in verwandten, aber zeitlich getrennten Bildungen, den Alsbachiten.

Dabei kann man wohl nur an Urausscheidung des Tonerdeüberschusses unter besonderen Druckverhältnissen denken. Was aber hier möglich war, das wird auch im Granulit möglich sein.

Schwenkel tritt denn auch entschieden für diese Auffassung ein. Nach ihm ist der Granat in den im Schwarzwald als Granulit bezeichneten sauren Ganggesteinen eine ursprüngliche Bildung, da dieses Mineral sich bei hohem hydrostatischen Druck direkt aus dem Schmelzfluß ausscheiden könne (23, S. 197). Ähnlich scheint sich Weber die Entstehung des Granats zu denken.

Zugunsten einer Urausscheidung des Granats scheinen in unseren Granuliten vor allem auch die beobachteten Einschlüsse zu zeugen, die orientierten Rutilnadelchen sowohl als auch die Perthite mit Plagioklasrand (S. 142).

Nun ist aber der Zyanit der fast stete Begleiter des Granats, besonders wo der Granulit ärmer wird an Biotit. Vor allem in der Nähe von unvollständig resorbierten Einschlüssen ist er oft geradezu gehäuft. Wenn man daher berechtigt ist, den Granat als ein Produkt der Auflösung toniger Sedimente anzusehen, dann darf man wohl mit gleichem Rechte auch vom Zyanit annehmen, daß er ganz ähnlicher Entstehung ist, stellt er doch das reine Tonerdesilikat mit kleinstem Volumen dar.

Weber (32, S. 14) glaubt für die Entstehung des Zyanits eine Dynamometamorphose in Anspruch nehmen zu müssen, die nach der Verfestigung des Gesteins wirksam gewesen wäre, und er erblickt den Grund für das Fehlen dieses Minerals in seinem „Dioritgranulit“ darin, daß derselbe von keinen nachträglichen Störungen betroffen wurde. Derartige Störungen fehlen aber auch in unsern zum Teil sehr zyanitreichen Granuliten vollständig, denn sie sind zum großen Teil durchaus richtungslos-körnig, ohne Spur von Kataklassen oder Streckungserscheinungen. Die Einschlüsse von in wechselndem Maße aufgelösten oder granulitisierten Schieferfetzen aber, die zum Teil verknetet und zerrissen im Granulit schwimmen und um die sich die Zyanitkriställchen oft in bedeutenden Mengen anreichern, sind präkristalline Tektonite, das heißt sie haben nach ihrer Umkristallisation keine nennenswerten Differentialbewegungen mehr erlitten. Selbst die durch die Anordnung der Mineralien angedeutete Schieferung ist in den meisten Fällen nur eine scheinbare, da sie bei der Metamorphose vielfach vollständig zerstört wurde. Es wird auch hier allem Anscheine nach Druck wirksam gewesen sein, aber kein nachträglicher, sondern ein solcher, der während der langandauernden Periode der Verfestigung die Bildung der Mineralien nach dem Volumengesetz beeinflusste, was Weinschenk und andere mit Piezokristallisation bezeichnet haben. Solche Mineralien mit kleinstem Volumen stellen auch die übrigen hauptsächlichsten Gemengteile dar, der Sillimanit und der Rutil.

Das Auftreten des Sillimanits wurde oben (S. 142) bereits geschildert.

Auffällig ist das fast vollständige Fehlen des Titanits, der in eigentlichen Granuliten nie beobachtet wurde, trotz des oft recht hohen Gehaltes an TiO_2 . Diese Verbindung war offenbar unter dem hohen Druck, unter dem der Granulit erstarrte, nicht bestandsfähig, so daß TiO_2 nur als Rutil zur Ausscheidung kam. Letzteres Mineral findet sich als Einschluß in den verschiedensten Mineralien, auch im Quarz und Perthit, meist als sehr feine Kristallnadelchen, so daß man annehmen muß, daß seine Bildung sich schon sehr früh vollzog, analog der von Apatit und Zirkon in den granitischen Gesteinen.¹⁾

Wenn man daher kaum noch zweifeln kann, daß die besagten Mineralien mit kleinstem Volumen während der Erstarrung des Granulits ihre Ausbildung erlangten, so wäre damit auch ein Einfluß des Druckes auf die Mineralausscheidung bewiesen; der Granulit wäre ein piezokristallines Gestein. Allerdings war Weinschenk anscheinend weit davon entfernt, den Granulit als ein Produkt der Piezokristallisation zu betrachten, von der er annahm, daß sie auf kristalline Gesteine der alpinen Fazies beschränkt sei. Aber er betonte bereits den eigentümlichen Charakter der Granulite, der „durch schwer kontrollierbare Modifikationen der Gesamtzusammensetzung des Magmas oder der physikalischen Bedingungen während dessen Entstehung bedingt“ ist. Diese abweichenden Bedingungen wären neben der durch die Auflösung des Nebengesteins vielleicht bewirkten Störung des

¹⁾ Vergleiche Fußnote S. 166.

chemischen Gleichgewichtes und der Armut an Mineralisatoren vor allem der hohe Druck, sei es hydrostatischer oder seitlicher, der auf dem erstarrenden Magma lastete und auf die Bildung der Mineralien seine Wirkung ausübte entsprechend dem Volumengesetz.

Es bliebe uns noch die eigentümliche und in den Granuliten so allgemein verbreitete Erscheinung der Perthitbildung zu betrachten, wird sie doch vielfach als das Ergebnis einer Umwandlung unter Druck angesehen. Weinschenk wies bei der Beschreibung der Ceylongranulite (35, S. 300) bereits darauf hin, daß das konstante Auftreten des Perthits in diesen Gesteinen in absolut keine Beziehung zu bringen sei zu etwaigen Druckphänomenen, daß sich diese Verwachsungen vielmehr in rein richtungslos-körnigen Gesteinen finden, er schloß daraus, daß der Perthit eine ursprüngliche Bildung sein müsse, wenn wir auch die Bedingungen ihres Zustandekommens nicht kennen.

Das eine steht jedenfalls fest, daß die einzelnen Perthitkristalle, beziehungsweise deren mannigfaltig geformten Plagioklaseinschlüsse, die sehr oft ein den Orthoklas förmlich überwucherndes Gewebe bilden, wahllos verteilt sind, unabhängig von irgendeiner Druckrichtung. Wenn beim Zustandekommen dieser Verwachsung also Druck beteiligt war, so muß es hier wohl sicher ein hydrostatischer gewesen sein. Die in den hier seltenen Granuliten mit starkem Streß beobachtete Erscheinung, daß die Perthite mit ihrer Faserung sich senkrecht zur Schieferung, also in der Druckrichtung, einstellen, scheint ja für die Mitwirkung des letzteren bei ihrer Entstehung zu sprechen. Daß aber trotzdem die Perthitbildung auch hier etwas Ursprüngliches sein muß, scheint sich daraus zu ergeben, daß die perthitischen Spindeln ja bestimmte Richtungen, wie Spaltrisse u. dgl., im Orthoklas bevorzugen, mithin müßten sich dessen Kristalle schon gleich bei der Bildung entsprechend eingestellt haben, wenn man nicht eine vollständige Umkristallisation während der Perthitbildung annehmen will.

Hennig (26, S. 418) nimmt denn auch an, daß die Stengel im Gegensatz zu den Lamellen, die nach ihm erst später durch Druck entstanden, primär bei der Verfestigung ausgeschieden wurden. Brögger (26, S. 417) erklärt beim Feldspat vom Gomsöwege unregelmäßige (perthitische) Einlagerungen, welche parallel der Hauptzone gestreckt sind, ausdrücklich als durch Spaltung des ursprünglich auskristallisierten „Natronorthoklases“ gebildet. Daß etwas Ähnliches für die Perthite unseres Granulits gilt, die anscheinend die gleiche Ausbildung aufweisen, geht hervor aus einer bereits oben mitgeteilten Beobachtung (S. 143) an Einschlüssen in größeren Granaten mit den ebenfalls dort beschriebenen orientierten Rutileinlagerungen. Hier zeigen die Perthite, die denen in der Grundmasse vollständig gleichen, wo der Orthoklas in den meisten Fällen von einem dichten Flechtwerk gleichverlaufender und sich unter einem spitzen Winkel kreuzender Spindeln durchsetzt ist, einen deutlichen Rand von Plagioklas von derselben Zusammensetzung wie die Einlagerungen. Von einer nachträglichen Zufuhr von Plagioklassubstanz kann hier also absolut keine Rede sein. Und ebensowenig kann an eine zufällige Bildung gedacht werden, dafür sind in der genannten Weise aus-

gebildete Perthiteinschlüsse zu häufig. Es bleibt also nichts anderes übrig, als anzunehmen, daß der Einschluß zuvor eine homogene Mischung der beiden Feldspäte darstellte, die bei der Erkaltung, vielleicht unter hohem Druck oder unter sonstwie gearteten Bedingungen, die uns noch unbekannt sind, in die beiden Komponenten zerfiel.

Becke, der im übrigen die Perthitbildung als eine Eigentümlichkeit der kristallinen Schiefer betrachtet, glaubt, daß der Zerfall der homogenen Mischung der beiden Feldspäte „vielfach schon in den körnigen Massengesteinen geschieht“, „bei denen die Abkühlung langsam genug voranschreitet, um das Gestein lange in dem Bereich der Umwandlungstemperaturen verweilen zu lassen“ (2, S. 5). Im Sinne Beckes wäre dann die Perthitbildung ein primär-sekundärer Vorgang, vielleicht vergleichbar dem Zerfall des Kalknatronfeldspates des Zentralgranits in Albit und Mikrolithen von Granat, Klinozoisit usw. (33, S. 70, 3, 2, S. 5 und 123). Es scheint somit der Annahme einer ursprünglichen Bildung des Perthits nicht nur nichts im Wege zu stehen, sie dürfte im Gegenteil recht naheliegen.

Für kristalloblastische Umwandlung glaubt Sueß endlich noch einen Grund in der vereinzelt auftretenden inversen Zonenstruktur der Plagioklase erblicken zu müssen (25, S. 395). Wenn nun auch diese von Becke zuerst beobachtete Erscheinung im allgemeinen in den kristallinen Schiefen die Regel ist, so kommt sie doch auch in sicher nicht umgewandelten Ganggesteinen unseres Gebietes vor. So wurde die besagte umgekehrte Zonenstruktur in wunderbar schöner Ausbildung in einem wahrscheinlich malchitischen Ganggestein aufgefunden. An den meist gut ausgebildeten porphyrischen Plagioklaseinsprenglingen kann man nämlich eine ganze Anzahl scharf abgegrenzter Zonen unterscheiden, von denen die äußere immer durch ausgesprochene Unterschiede in der Lichtbrechung sich als basische erweist.

Bei solchen Gesteinen, die an verschiedenen Stellen derselben Gegend mit Alsbachiten in gemischten Gängen zusammen vorkommen, wird man an Differenzierungen und Mischungen in dem, wie aus dem Odenwald bekannt, so sehr zu Spaltungen geneigten malchitisch-alsbachitischem Magma zu denken haben. Durch sie allein wird die Zunahme der Basizität, die in der inversen Zonenstruktur ihren Ausdruck findet, verständlich.

Bei der von Sueß und Tertsch in Granuliten beobachteten inversen Zonenstruktur wird ein ähnlicher Erklärungsgrund naheliegen, nachdem wir uns über die hybride Natur der Granulite im klaren sind. Bei Mischungsvorgängen kann sich leicht die chemische Zusammensetzung des Magmas wiederholt ändern, so daß die genannte Erscheinung nicht viel Befremdendes mehr haben kann.¹⁾

Nehmen wir nun die geschilderten Verhältnisse in ihrer Gesamtheit, so werden aus der Struktur und der mineralogischen Zusammensetzung kaum ernste Schwierigkeiten übrigbleiben gegen die Auffassung, daß

¹⁾ Die erwähnte Beobachtung der inversen Zonenstruktur in einem granitischen Ganggestein, bei dem die Ursache ihres Zustandekommens ersichtlich ist, scheint von nicht geringer Bedeutung zu sein, da sie allem Anscheine nach den Schlüssel bietet für das Verständnis der analogen Erscheinung in kristallinen Schiefen. Wir behalten uns vor, gelegentlich auf diesen Gegenstand zurückzukommen.

der Granulit in bezug auf seine wesentlichen Merkmale ein primäres Gestein ist, dessen Eigentümlichkeiten und Besonderheiten nicht auf einer nachträglichen Metamorphose beruhen, sondern zurückzuführen sind auf das Zusammenspiel von Protoklase und Protoblastes, wobei der letzteren wohl die Hauptrolle zufällt. Damit soll natürlich nicht geleugnet werden, daß bei manchen Granuliten, zum großen Teil auch in unserem Gebiet, bestimmte Merkmale erst in der postmagmatischen Periode zur Ausbildung kamen, dort nämlich, wo, wie in Sachsen, derselbe Gebirgsdruck, der auf dem erstarrenden Magma lastete, auch nach der Verfestigung noch andauerte. Dahin gehören Stauchungen, Verschiebungen, Zertrümmerungen und Mylonitisierung.

2. Die größeren Einlagerungen.

Den verschiedenen Granulitmassiven sind nicht selten größere Partien fremden Gesteins eingeschaltet. In Sachsen sind es meist als Biotit-, Cordierit- und Granatgneis bezeichnete Bildungen sedimentärer Entstehung oder Serpentine, Pyroxen- und Amphibolgesteine, die sich in den meisten Fällen wohl sicher von ursprünglichen Eruptivmassen oder deren Tuffen ableiten lassen (5, 6, 13, 14).

Auf Ceylon bestehen die Einlagerungen bald aus körnigen Dolomiten und Cipollinen mit Einsprenglingen von blauem Apatit und mit Kontaktmineralien, wie Forsterit, Chondroit, Phlogopit und Spinell, bald aus granat- und sillimanitführenden Gneisen (teilweise auch mit Andalusit und Korund) oder Anorthitgesteinen mit Korund, Granat, Amphibol, Skapolith, Pyroxen und Epidot oder endlich aus typischen Kontaktgesteinen mit Grossular, Wollastonit, Diopsid usw. Dazu kommen noch die bekannten gangförmig auftretenden Graphite (35, S. 286).

Im niederösterreichischen Waldviertel findet man nördlich von St. Leonhard mitten im Granulit ein Vorkommen von typischem Sedimentgneis, Marmor und untergeordnet auch Amphibolit (4, S. 220), ganz abgesehen von den Diallag-Amphiboliten des mittleren Kamptales (7, S. 1), während in Mähren dem Granulit von Borry die „Hornfelsgranulite“ Sueß eingelagert sind (24, S. 631).

Nach unserer Auffassung, wonach der Granulit seinem Wesen nach ein hybrides Gestein ist, haben solche Einlagerungen nicht nur nichts Auffälliges an sich, man müßte geradezu derartige größere unverdaute und in sehr verschiedenem Maße granulitisierte Reste sedimentären oder eruptiven Gesteins erwarten.

Wie anfangs erwähnt (S. 141), wurden auch im Granulitmassiv von Marbach-Granz größere Einlagerungen dieser Art beobachtet; es wurden dort drei angegeben, von denen die eine wegen des mangelhaften Aufschlusses für unsere Betrachtung ausscheidet. Die beiden übrigen sind in zweifacher Hinsicht interessant, einestells wegen der verschiedenen Formen des Kontakts, von denen der eine einen konkordanten, der andere einen diskordanten darstellt, andernteils wegen der Verschiedenheit des Ausgangsmaterials, das in einem Falle höchst wahrscheinlich sedimentärer, im andern Falle wohl sicher eruptiver Entstehung ist.

1. Der Anschluß bei Kilometer 50·5 der Eisenbahn (Marbach—Persenbeug).

Bei Kilometer 50·5 ist in ausgezeichneter Weise der diskordante Kontakt zwischen Granulit und einem Hypersthengabbro freigelegt (Fig. 9). Diskordant mag der Kontakt genannt werden, trotz der zum Teil parallelen Granulitapophysen, weil die Grenzen zwischen beiden Gesteinsarten ganz unregelmäßig verlaufen und der Granulit bald schmale und sogar allerfeinste Adern, bald große plumpe Linsen im Gabbro bildet. Nach oben kann der Kontakt nicht verfolgt werden, während donauabwärts die Grenzen durch die Gesteinszersetzung verwischt sind.

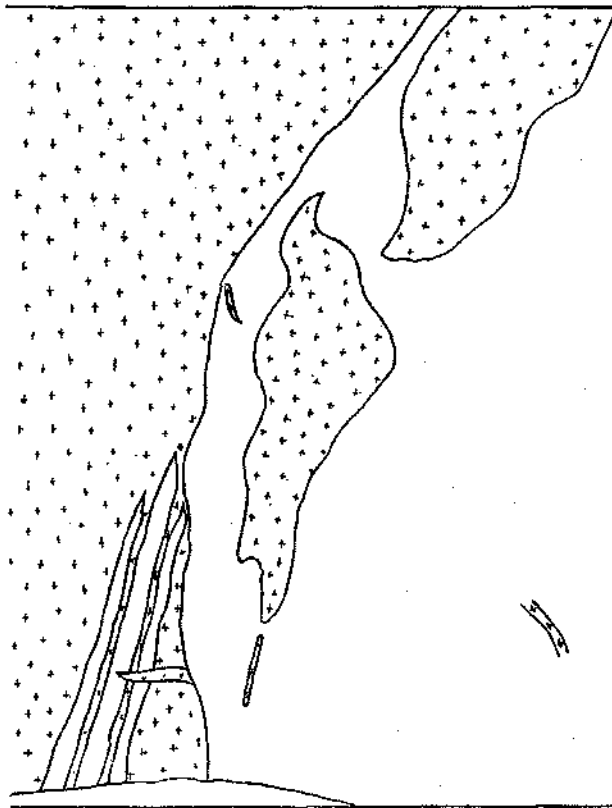


Fig. 9. Anschluß bei Kilometer 50·5 der Eisenbahn zwischen Marbach und Persenbeug: diskordanter Kontakt zwischen Granulit und Hypersthengabbro, etwas schematisiert. Breite etwa 4 m

Der Hypersthengabbro hebt sich vor allem durch die Verwitterung gut ab von dem hellen Granulit. Er zerfällt meist zu rötlichem Grus, in dem Blöcke und größere und kleinere Kugeln frischen Gesteins erhalten blieben. Letztere sind noch mit einer rotbraunen Verwitterungsrinde umgeben. Wo das Gestein zwischen den schmalen Granulitgängen eingeklemmt ist, scheint es etwas geschiefert zu sein. Doch läßt sich nach dem schlechten Erhaltungszustand nichts Bestimmtes darüber aussagen. Unten durchquert ein turmalinreicher Granitpegmatit Granulit und Gabbro.

Das frische Gestein zeigt dunkelgraue Farbe und ist von körniger Beschaffenheit und bedeutendem spezifischen Gewicht. Außer den Spaltflächen des Pyroxens unterscheidet man schon mit dem bloßen Auge

einzelne rötliche Granaten und mit der Lupe auch ziemlich viel gelbliches Eisenerz.

Mikroskopisch besteht das Gestein der Hauptsache nach aus Hypersthen. Derselbe gibt sich zu erkennen durch den deutlichen Pleochroismus (α rötlichbraun, β schwach bräunlich bis grünlich, γ grünlich), den negativen Charakter der Doppelbrechung (die sich bei der deutlichen Krümmung des Balkens im Schnitt senkrecht einer Achse gut bestimmen läßt) und die gerade Auslöschung. Bei dem starken Zurücktreten der übrigen Mineralien legen sich die einzelnen Kristalle bienenwabeförmig aneinander. Zuweilen beobachtet man beginnende Umwandlung in Amphibol, die von den Enden ausgehend auf Spaltrissen in den Kristall eindringt und nicht selten diesen ganz durchsetzt. Beim Fortschreiten dieser Zersetzung entwickeln sich schließlich strahlsteinähnliche, zum Teil wirrfaserige Aggregate von Hornblende. Wo diese an Quarz oder Feldspat angrenzen, ragen sie mit ihren Enden schilfig in diese hinein. Die Hornblende ist im Schliiff nur schwach pleochroitisch, grünlich bis farblos. Ein Querschnitt mit den für Hornblende charakteristischen Spaltrissen zeigt keine Kristallumgrenzung. Es handelt sich bei dieser Hornblende wohl um Uralitisierung.

Der rotbraune bis hellgelbe Biotit liegt in idiomorpher Ausbildung zwischen dem Hypersthenmosaik, begleitet aber auch die faserige Hornblende.

Der Plagioklas ist nach der Auslöschung im Schnitt $\perp a$ (65°) Labrador. Neben Zwillingslamellen nach dem Albitgesetz treten auch solche nach dem Periklingesetz auf. Der Labrador ist selten, an einigen Stellen häuft er sich. In ähnlicher Weise tritt der gleichfalls seltene Quarz auf. Er ist klar und wird von Schnüren von Einschlüssen durchzogen.

Eisenerz ist reichlich vorhanden. Es ist meist Magnetkies, der sich in Salzsäure löst unter Entwicklung von H_2S und nur unregelmäßige Körner bildet. Daneben scheint auch Schwefelkies aufzutreten mit Andeutung von Kristallform.

Der makroskopisch bereits erkennbare Granat fand sich im Schliiffe nicht; er ist offenbar zu ungleich im Gestein verteilt.

Nach einer Abzählung mit Hilfe des Mikrometers nach der Rosival-schen Methode gestaltet sich das Mengenverhältnis der Mineralien etwa: Hypersthen über 70 Prozent, Biotit etwa 10 Prozent, Erz 6 bis 7 Prozent, Quarz und Feldspat gegen 10 Prozent.

Wir haben es somit mit einem Pyroxenit zu tun (Rosenbusch, Elemente, S. 220) oder einem Hypersthengabbro. Nach den Lagerungsverhältnissen ist es sicher, daß derselbe älter ist als der Granulit, an dessen eruptiver Natur hier ebensowenig gezweifelt werden kann wie an dem Primärkontakt zwischen beiden Gesteinen. Und wenn in den Granulitapophysen eine Parallelteytur wahrzunehmen ist, so fehlt davon auch die leiseste Spur in dem absolut richtunglos-körnigen Hypersthengabbro. Somit muß die Parallelstruktur im Granulit sicher primär sein, da sie sonst doch auch auf den nahen Hypersthengabbro hätte übergreifen müssen.

Ob die teilweise Uralitisierung durch den letzteren bewirkt wurde oder durch die spätere Granitintrusion, mag dahingestellt bleiben; das letztere scheint aber das Wahrscheinlichere zu sein, da man von dem trockenen granulitischen Magma in den in Frage kommenden Tiefen kaum eine andere Kontaktwirkung erwarten darf als eine vielleicht partielle Aufschmelzung, die kaum Spuren hinterlassen wird.¹⁾

Leider wurde der Granulit vom Kontakt nicht untersucht, da die Verhältnisse ursprünglich im umgekehrten Sinne aufgefaßt wurden, als ob der Pyroxenit in den Granulit eindränge.²⁾ Es ist dieses Vorkommen ein Seitenstück zu dem durch Scheumann bekanntgewordenen diskordanten Kontakt zwischen Granulit und Gabbroamphibolit bei Roßwein und an anderen Orten in Sachsen (22).

2. Der große Steinbruch bei Granz.

Der große Steinbruch bei Granz (Kilometer 51), von dessen hellen, hohen Wänden sich eine Anzahl mannigfach geteilter Lamprophyrgänge scharf abheben, so daß dieselben schon von weitem sichtbar werden, verdient noch mehr unsere Aufmerksamkeit wegen einer großen Scholle fremden Gesteins, die hier dem Granulit eingelagert ist (Fig. 10). Ihre Mächtigkeit beträgt im Mittel etwa 3 Meter. Unten verschwindet dieselbe unter dem Schutt, während sie nach oben in gewundenen Linien schräg ansteigt. Das Streichen ist ungefähr NNO, das Fallen etwa OSO. Von den erwähnten Lamprophyrgängen wird auch sie durchbrochen. Die Grenzen gegen den Granulit sind gut erkenntlich durch die dunklere Färbung und die etwas eisenschüssige Verwitterung. Der Kontakt ist durchaus konkordant, indem der Granulit sich ganz den Formen der Schiefereinlagerung anpaßt. Manchmal scheint der helle Weißstein an der Berührungslinie ohne Übergänge scharf abzuschneiden; meist jedoch vermittelt eine schlierige Zone von Mischgestein. Es sind das Bildungen, die dadurch zustande kommen, daß der Granulit Schieferlagen ablöst und sich in Form von Schlieren damit belädt. Letztere laufen in der Regel dem Kontakt parallel. In den Schiefer sieht man einige größere und zahlreiche feine Adern eindringen. Während die ersteren vielfach quer durchsetzen, halten sich die feineren meist in den Schieferfugen, wo sie sich auch wohl zu kleinen Linsen ausbuchten. Alle diese Vorgänge stellen die beginnende Granulitisierung dar, die in der Hauptmasse des Schiefergesteins, wie wir sehen werden, sicher nur äußerst gering ist.

Wir nannten das Gestein bisher Schiefer, um seine sedimentäre Entstehung anzudeuten. Wir könnten dasselbe teilweise, besonders wo die Injektionen deutlicher werden, ebensogut Gneis nennen. Ob an dieser Vergneisung nicht auch zum Teil der spätere Granit beteiligt ist, kann vorläufig nicht entschieden werden. Zum Teil ist das Gestein auch massig und hornfelsähnlich.

Aus dem Gesagten geht schon hervor, daß das Gestein von wechselnder Beschaffenheit ist. Neben granulitisch injizierten Partien findet man

¹⁾ Tatsächlich kommt der Granat doch stellenweise so reichlich vor, daß man wohl nicht umhin kann, denselben als Produkt der granulitischen Kontaktmetamorphose zu betrachten (Eklogitfazies).

solche, bei denen kaum eine Vermischung nachzuweisen ist. Die Farbe schwankt zwischen grau und schwarz. Während bestimmte Stellen durch sehr dunkle, schmale, parallele Lagen ihren sedimentären Charakter im höchsten Grade wahrscheinlich machen, sind andere wie Hornfelse ausgebildet oder wie feinkörnige Amphibolite ohne Schieferstruktur.

Die mikroskopische Untersuchung gibt uns darüber Gewißheit, daß es sich bei diesen Gesteinen um keine, auch nicht um umgewandelte, ursprünglichen eruptiven Gebilde handeln kann. Sie haben auch, abgesehen vielleicht von Partien in unmittelbarer Berührung mit dem Granulit, sehr wenig gemein mit dem, was wir als granulitische Mischgesteine oder Hornfelsgranulite kennen gelernt haben. Sie sind nach den vorliegenden Proben, was Struktur und Mineralbestand angeht, nichts anderes als Kontaktgesteine oder kristalline Schiefer.

Sie bestehen im wesentlichen aus einem Gemenge von vorwiegend Feldspat und Quarz mit bedeutenden, aber wechselnden Mengen von Pyroxen, Hornblende, Biotit, Granat, Titanit, Apatit und Erz. Feldspat und Quarz sind nicht immer gleichmäßig verteilt; besonders letzteres Mineral ist stellenweise angereichert.

Der Feldspat ist zum großen Teil Kalifeldspat; man erkennt ihn als solchen an dem häufigen Myrmekit, der ihn umgibt und sich in ihn hineinfrisßt. Es scheint Mikroklin zu sein. Die Gitterlamellierung ist allerdings recht wenig typisch, macht sich aber an etwas wie undulöser Auslöschung bemerkbar. An den Rändern glaubt man hie und da eine äußerst feine Gitterung wahrzunehmen. Kristallform zeigt er keine, Der meist zwillingslamellierte Plagioklas ist stärker lichtbrechend als Kanadabalsam. Die Auslöschungsschiefe von etwa $20^\circ \perp a$ und bei $5^\circ \perp c$ läßt auf Andesin schließen. Er ist gewöhnlich frisch, teilweise aber auch erfüllt von Ausscheidungen von Serizit und Epidotmineralien wohl als Produkt späterer Zersetzungen.

Recht häufig ist in manchen Schliften eine eigentümliche Verwachsung von Andesin und Kalifeldspat, also Antiperthit, bei dem der Kalifeldspat ein ganz unregelmäßiges Netzwerk bildet von verschiedenen breiten Maschen.

Der Quarz ist klar und ohne Anzeichen von Druckwirkungen.

Die Hornblende, die bald den Pyroxen überwiegt, bald hinter ihm zurückbleibt, zeigt vereinzelt in Schnitten senkrecht zur Vertikalachse Andeutung von Kristallform, meist bildet sie unregelmäßige Körner. Der Pleochroismus ist für α gelblichbraun, β braun, γ bräunlichgrün.

Der Pyroxen hat nie Kristallform, sondern erscheint in gerundeten und ausgebuchteten Körnern. Er ist fast farblos oder höchstens schwach grünlich. Der Achsenwinkel ist ziemlich groß. Es wird sich um Diopsid oder Diallag handeln. Für letzteren spricht die hie und da auftretende, eng gescharte Zwillingslamellierung. Vielfach ist er von einem sehr feinen, grünlichen, faserigen Rande umgeben als Zeichen der beginnenden Umwandlung in Hornblende.

Granat ist ziemlich häufig; er bildet größere, unregelmäßige Lappen. Er wird öfters von chloritisiertem Biotit umgeben und durchsetzt. Letzterer ist verhältnismäßig selten; teilweise findet er sich auch in langen Lamellen.

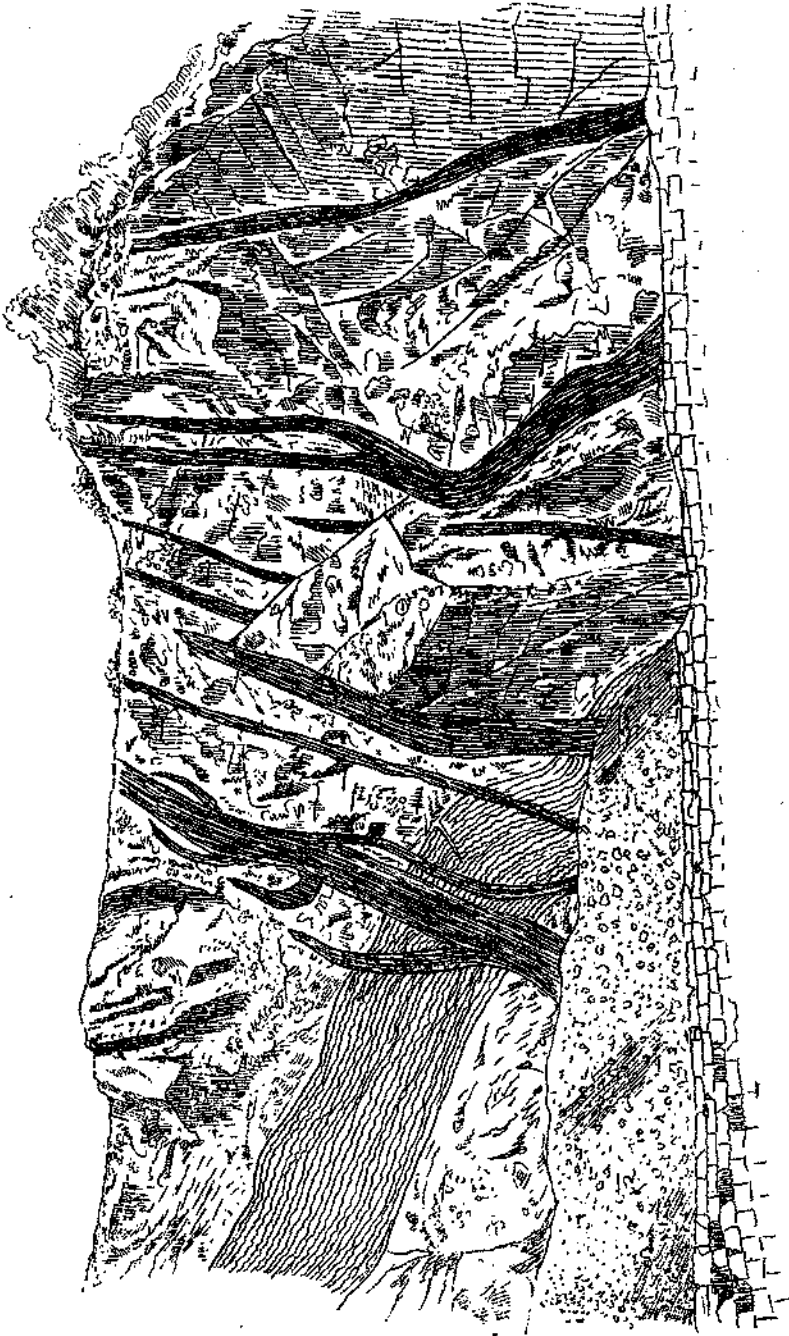


Fig. 10. Steinbruch bei Kilometer 51 der Eisenbahn zwischen Marbach und Persenbeug (Grenz). Rechts im Granulit eine Scholle von Schiefergestein mit granulitischen Injektionen und beschränkten Mischzonen. Granulit und Schiefer werden von granitischen Lamprophyren durchsetzt. Breite des Aufschlusses etwa 30 m.

Auffallend häufig sind ziemlich große, formlose Stücke von Apatit und Titanit. Beide zeigen keine Kristallform, wenn man vereinzelt kleine Apatitkriställchen ausnimmt.

Der Titanit schließt zuweilen stärker lichtbrechende Körner ein von vermutlich Rutil. Sonst scheint letzteres Mineral, das im normalen Granulit ausschließlich die TiO_2 darstellt, hier ganz zu fehlen.¹⁾

Die großen Apatitkörner sind merkwürdig durch ihre Zweiachsigkeit, die sonst als Anomalie nur bei größeren, aufgewachsenen Kristallen vorzukommen pflegt (19, S. 107). Man bekommt des öfteren das typische Bild eines zweiachsigen Kristalls senkrecht einer Achse. Da der Achsenbalken sich kaum krümmt, muß der Winkel ziemlich groß sein. Eine etwaige Verwechslung mit schwach doppelbrechendem Orthit ist ausgeschlossen schon wegen der Lichtbrechung, besonders aber wegen der leichten Löslichkeit in Salzsäure.

Endlich finden sich noch ziemlich verbreitet unregelmäßige Körner von Eisenerz; nach der Farbe scheint es Schwefelkies zu sein.

Was die Struktur angeht, so ist dieselbe eine rein kristalloblastische, wie sie für viele Kontaktgesteine und kristalline Schiefer bezeichnend ist. Paralleltexur, insofern dieselbe durch Streckung zustande kommt, ist nicht wahrzunehmen. Manchmal wechsellagern gröbere und feinkörnigere Partien, wohl als Ausdruck der ursprünglichen Schichtung.

Die erwähnten massigen Gesteine von hornfelsartigem Aussehen finden sich in großen Blöcken in tadelloser Frische am Schutzdamm gegen den Bahnkörper. Sie sind dunkel und von ziemlich feinem, gleichmäßigem Korn und lassen schon makroskopisch einen hohen Gehalt an Hornblende oder Pyroxen vermuten. Schichtung sieht man keine, noch weniger Paralleltexur. Vereinzelt helle Schlieren mit wenig Granat, die mit der Grundmasse eng verbunden sind und keine ausgesprochene Richtung einhalten, zeugen für granulitische Beeinflussung.

Im Dünnschliff erkennt man das Gestein als im wesentlichen identisch mit dem vorher beschriebenen; es führt die nämlichen Mineralien in der gleichen Ausbildung, so daß es derselben Scholle entstammen muß. Örtliche Zersetzungen mit gleichgerichteten Adern von Klinozoisit sind gewiß späterer Entstehung.

Die hellen granulitischen Schlieren bestehen hauptsächlich aus Quarz und Feldspat. Letzterer ist zum Teil Orthoklas, aber ohne perthitische Einlagerungen. Er nimmt ähnliche Ausbildungsformen an wie im Granulit selbst. Der Plagioklas scheint noch basischer zu sein als Andesin. Infolge der eingetretenen Mischung findet sich hier auch Pyroxen und verhältnismäßig viel Titanit. Apatit bildet neben unregelmäßigen Stücken auch zierliche Kriställchen in Quarz und Feldspat.

Hier hat also tatsächlich eine Mischung stattgefunden. Sie scheint sich aber auf diese Schlieren zu beschränken, während die Hauptmasse

¹⁾ Granulit und Schiefer haben offenbar gleichzeitig unter denselben Bedingungen von Druck und Temperatur gestanden. Wenn trotzdem im Schiefer TiO_2 anscheinend ausschließlich in Form von unregelmäßig umschriebenen Titanit vorkommt, während im unmittelbar angrenzenden Granulit TiO_2 nur als Rutil ausgebildet wurde, und zwar in zierlichen Kriställchen als Einschlüsse auch in Quarz und Feldspat, so darf man darin einen sicheren Beweis erblicken, daß in beiden Gesteinen durchaus abweichende Kristallisationsbedingungen geherrscht haben müssen, was sich ja auch aus der sehr verschiedenen Struktur ergibt. In einem Falle war es die Kristallisation aus dem Schmelzfluß, wobei Rutil sich ausschied nach Art des Apatit und des Zirkon z. B. im Granit, im andern die erschwerte Kristallisationsmöglichkeit im festen Gestein, das den Druck nicht in gleicher Weise weiterleiten konnte.

des Gesteins davon kaum berührt wurde. Anderswo scheinen solche Mischungszonen stärker ausgebildet zu sein, so nach Tertschs Schilderungen im Dunkelsteiner Granulitmassiv (30).

Wären die Verbandsverhältnisse nicht so klar infolge des guten Aufschlusses, so würde man das Gestein wohl unbedenklich zu den Pyroxengranuliten stellen. Denn die so bezeichneten Gesteine erinnern nach Lehmann (12, S. 234) auch in Sachsen oft mehr an Kontaktgestein als an eruptive Massen. Unsere Gesteine sind sicher Kontaktgesteine

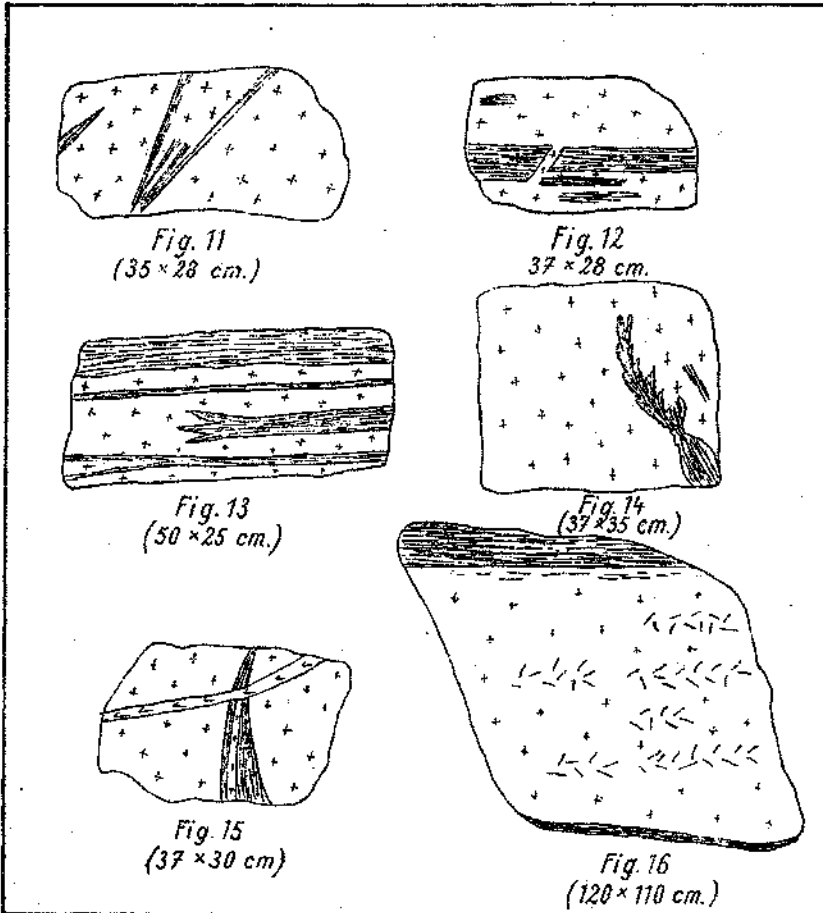


Fig. 11—15. Verschiedene Formen von Schieferresten im Granulit, von letzterem stark durchtränkt, zum Teil reich an Graphit.

Fig. 16. Abgestürzter Block im Steinbruch bei Granz (Kilometer 51 der Eisenbahn Marbach—Persenbeug) mit „pegmatitischen“ Schlieren; oben Kontakt mit Schiefer, unten mit Kersantit.

des Granulits, die der eigentlichen Granulitisation in der Hauptsache widerstanden haben. Die Aufschmelzung und granulitische Durchdringung waren hier eben unvollkommen und unvollständig. Vielleicht dürfen wir die Erklärung darin suchen, daß die Scholle erst spät in den granulitischen Schmelzfluß eingetaucht wurde, als derselbe nicht mehr so heiß und lösungsfähig war. Daß beide noch aufeinander reagierten, wurde ja gezeigt.

Man darf sich nun weiter fragen, was aus dem eingelagerten Gestein geworden, wenn es früher mit dem Granulit in Berührung gekommen und somit länger seiner Einwirkung ausgesetzt gewesen wäre? Die Frage ist

keine müßige, sondern von nicht geringer Bedeutung, um den starken Wechsel in der chemischen Zusammensetzung all der verschiedenen Gesteine zu verstehen, die unter dem Namen der Granulite zusammengefaßt werden, speziell der Pyroxengranulite.

Zunächst scheint das eine festzustehen, daß der eigentliche Granulit und die als Pyroxengranulit bezeichneten Gesteine sich im allgemeinen ziemlich scharf und unvermittelt einander gegenüberstehen.

Es gibt hier jedenfalls keine kontinuierliche Reihe von Übergängen, wie wir sie oft vom Granit bis zum Diorit und selbst gabbroähnlichen Gesteinen wahrnehmen. Die Mischungsfähigkeit scheint eben eine sehr begrenzte zu sein und sich im wesentlichen zu beschränken auf Gesteinsmassen von toniger und quarzitischer Zusammensetzung, während basischere Gebirgsarten allem Anscheine nach in geringerem Grade assimiliert werden und daher gewöhnlich Einlagerungen bilden, die dem Granulit konkordant oder diskordant eingeschaltet sind, je nachdem Bewegungen im gepreßten Magma ein paralleles Einstellen derselben gestatteten oder nicht (1, S. 228; 7, S. 6). Den ersteren Fall haben wir in Sachsen vor uns, wie Lepsius geahnt, Scheumann aber erst als zweifellos nachgewiesen hat (22). Ihrer Struktur und Zusammensetzung nach haben diese Einlagerungen nach den Schilderungen aus dem sächsischen Granulitgebirge (13, S. 234) in den meisten Fällen den Charakter von Kontaktgesteinen; es sind pyroxen- und hornblendereiche Gesteine und sogar solche vom Typus der Eklogite. Sie dürften ihrem Wesen nach dem Gestein unserer eingelagerten Scholle entsprechen. Zu einer eigentlichen Einschmelzung ist es bei diesen Gebilden offenbar nicht gekommen. Letztere scheint aber möglich zu sein und tatsächlich nicht selten stattgefunden zu haben. Das Produkt derselben stellen, wie es scheint, die Trappgranulite dar, das sind Gesteine, die nach Struktur und Mineralbestand so sehr einem Gabbro gleichen, daß z. B. Weinschenk als Strukturbild für letzteren das eines Trappgranulits aus Sachsen abbildet (33, Taf. II, Fig. 5). Dieser Trappgranulit oder Gabbro wurde denn auch schon von Dathe aufgefaßt als großkörnig ausgebildeter Pyroxengranulit (13, S. 229). In den Pyroxengranuliten aber vermutete Lepsius und vor ihm bereits Dathe, Scheerer und Stelzner nicht etwa chemische Differentiationen im Granulit, sondern Aufschmelzungsprodukte von basischen Eruptivgesteinen oder deren Tuffen.

Ein ähnliches Ausgangsmaterial werden wir auch wohl für unsere Scholle im Granulit annehmen müssen. Daß entsprechende Eruptivmassen nicht gefehlt haben, beweist das Vorkommen des Hypersthengabbro im Granulit und zahlreiche andere von Hornblendegabbros und Amphiboliten in der näheren Umgebung.

Auf die Frage nach dem so vielfach beobachteten Beziehungen vom Granulit zu basischen Eruptivmassen: Gabbros, Amphiboliten, Serpentin usw. ist in obigem die Antwort bereits im wesentlichen gegeben.

Diese basische Eruptiva sind hier bestimmt zeitlich früher, da der Granulit sie schon gebildet vorfand und in sie eindrang. So war es, wie Lepsius bereits vermutete und Scheumann auf Grund seiner Untersuchungen für sicher hält, auch in Sachsen.

Ob diese zeitlich früheren Eruptivmassen in genetischem Zusammenhang stehen mit dem Granulit, insofern als ihr Empordringen dem des Granulits voraufging, in der Weise etwa, wie manchenorts der Granit-intrusion eine solche von Gabbros und Gabbrodioriten vorausging, darüber vermag man nur Vermutungen anzustellen, Bestimmtes kann darüber nicht gesagt werden.

Handelt es sich um Gesteine, die vom Granulit mehr oder weniger vollständig eingeschmolzen wurden, so wird das Gewöhnliche sein, daß diese basischen Einschmelzungsprodukte, wie in Sachsen, zu Lagen und Linsen ausgezogen werden und so mit dem eigentlichen Granulit wechsellagern. Bei Mangel von tangentialen Druck und dadurch bewirktem seitlichen Ausweichen wäre es aber auch sehr gut denkbar, daß der „Pyroxengranulit“ den normalen Granulit gangartig durchsetzte, besonders wenn man bedenkt, daß die basischen Massen viel länger ihren zähflüssigen oder plastischen Zustand beibehalten müßten als der mehr trockene Schmelzfluß von vorwiegend Quarz und Feldspat (13, S. 235). Ja, es wäre durchaus nicht ausgeschlossen, daß auf diese Weise gabbroide Gesteine und Peridotite (Serpentine) gelegentlich durch den Gebirgsdruck aus dem Granulit in die umgebenden Schiefer hineingepreßt wurden. Mit dieser Möglichkeit müßte eine eingehende Untersuchung unseres Gebietes jedenfalls rechnen, da gabbroide Gesteine und Amphibolite sehr häufig auftreten, seltener in größeren Massen, wie unmittelbar westlich vom Marbach-Granzer Granulitmassiv, als vielmehr in meist schmalen Lagern innerhalb der Schieferformation.

3. Kleinere Granulitvorkommen.

Außerhalb des eigentlichen Massivs wurde Granulit noch an zwei Stellen mit Bestimmtheit nachgewiesen, wobei der später zu besprechende „Augengranulit“ nicht mitzählt.

1. Zunächst steht links vom Wege, der von Persenbeug über die Graphitgruben nach Mitterberg führt, oberhalb Fürholz im Walde ein eigentümliches, etwas zerklüftetes Gestein an. Auf den angewitterten, glatten Flächen ist es von hellgrauer Farbe, während dasselbe im Innern mehr dunkel gefärbt ist. Es ist dicht, fast hornfelsartig und von splinterigem Bruch. Infolge der Verwitterung tritt an der Oberfläche eine Fluidalstruktur oder Faltung sehr deutlich zutage. Außer einigen kleinen Granaten als Einsprenglingen kann man keine Mineralien unterscheiden.

Unter dem Mikroskop zeigt sich, daß das Gestein starke Druckwirkungen erlitten hat im Anschluß an die Verfestigung. Die Protoklase gehen teilweise bis zur Mörtelstruktur. Die Quarze sind daher meist undulös, während die eigentliche Streckung entsprechend nicht sehr groß zu nennen ist.

Von Kalifeldspaten scheinen beide Arten vertreten zu sein. Kristalle ohne Gitterlamellierung (Orthoklas) enthalten in der Regel perthitische Spindeln. Beim Mikroklin mit klarer Gitterstruktur fehlen diese Plagioklaseinlagerungen. Seine Kristalle sind schlecht begrenzt.

Plagioklas, nach der Auslöschung (\perp c 19°) Albit, ist ziemlich selten.

Die gerundeten Granaten, vielfach mit Einschlüssen, sind gewöhnlich von einem Rand von feinschuppigem Biotit umgeben oder vereinzelt auch ganz aufgelöst. Auch sonst sind Schüppchen von Biotit nicht selten; sie bedingen die dunkelgraue Farbe des Gesteins.

Dazu kommen Sillimanit, wenig Zirkon und Apatit und endlich etwas Graphit.

Wir haben demnach wieder einen hybriden Granulit vor uns.

Zum ersten Male begegnen wir hier dem Mikroklin, der sonst den eigentlichen Granuliten zu fehlen scheint. Nach Lehmann (13, S. 216) kommt dieses Mineral in Sachsen nie vor und ebensowenig beobachtete Weinschenk dasselbe in den Ceylongranuliten (35, S. 311). Dagegen erwähnt Lehmann (13. S.) den Mikroklin aus dem südlichen Böhmen und Sueß ausnahmsweise auch aus dem Granulit von Emmersdorf (25. S. 394). In manchen Fällen mag der Mikroklin seine Entstehung nachträglicher granitischer Vergneisung verdanken. Hier sind dafür aber keine Anzeichen vorhanden.

Erwähnt muß noch werden, daß dieses Granulitvorkommen, dessen Grenzen nicht festgestellt wurden, in der nördlichen Fortsetzung des „Augengranulits“ liegt, von diesem nur etwa 1000 m entfernt; wahrscheinlich stehen beide in irgendeiner Weise im Zusammenhang.¹⁾

2. Das andere Vorkommen von Granulit treffen wir im Ispertale. Das Gestein steht auf der rechten Talseite an ein Stück unterhalb des Zusammenflusses von Klein- und Groß-Ispertbach. Es ist durch spätere Druckklüftung in scharfkantige Bruchstücke zerlegt. Äußerlich sieht man ihm die granulitische Natur wenig an. Erst beim Anschlagen fällt es durch seine Härte und Dichte auf sowie durch eine feine Bänderung, die auf einem unscharfen Wechsel von helleren und dunkleren Lagen beruht. Mit bloßem Auge nimmt man auf dem Hauptbruch sehr feine Granaten wahr. Unter dem stereoskopischen Mikroskop beobachtet man auch feine Schüppchen von Graphit.

Im Dünnschliff zeigt das Gestein außerordentlich starke Streckungserscheinungen, so daß der Quarz, der den Hauptbestandteil bildet, fast ausnahmslos zu platten Körpern ausgewalzt ist, die im Längsschnitt wie lange Stengel erscheinen.

Am Feldspat beobachtet man die Streckung weniger. Perthit ist selten; einmal sieht man ihn wieder im Granat, von einem kräftigen Rand von Plagioklas umgeben.

Die rundlichen Granaten, mit Einschlüssen von Perthit, Quarz, Rutil usw., werden von zwei Arten von Glimmer begleitet, einem braunroten Biotit, der ihn umgibt und teilweise durchsetzt, und einem fast farblosen oder sehr schwach grünlichen Glimmer, der in feinschuppigen Massen sich um den Granat legt oder ihn maschenförmig durchzieht. Der erstere ist ursprünglich, da er von Graphit begleitet wird, der andere als das Produkt der Zersetzung anzusehen. Es ist dies eine neue Bestätigung für den oben aufgestellten Satz, daß der den Granat begleitende Biotit nicht immer als sekundär entstanden zu denken ist (S. 143).

¹⁾ Tatsächlich wurde das Gestein in der dazwischen liegenden kleinen Ortschaft Eder beim Ausheben eines Kellers in größeren Massen anstehend angetroffen.

In der Grundmasse bildet der Biotit meist sehr feine, parallel angeordnete Schüppchen. Er wird vielfach von Graphit begleitet.

Rutil findet sich in beträchtlichen Mengen; die in der Regel kleinen Kriställchen folgen ebenfalls der Streckung. Gleichgerichtete Sillimanitnadeln sind selten.

Wir haben hier offenbar wiederum ein granulitisches Mischgestein vor uns; dafür zeugt vor allem der Graphit und der reiche Gehalt an Rutil.

Wie das vorherige Vorkommen wurde auch dieses auf seine Ausdehnung nicht näher untersucht, da die Gesteine anfangs nicht als Granulite erkannt wurden. Da das letzte Vorkommen etwa 5 km von Fürholz entfernt liegt und das von Fürholz weitere 5 km vom Hauptmassiv, so steht zu erwarten, daß man in dem Gebiete noch mancherorts kleinere Granulitmassen antreffen wird, die alle in irgendeiner Weise mit dem Hauptmassiv im Zusammenhang stehen.

4. Der „Augengranulit“.

Oberhalb Persenbeug stößt man bei Kilometer 56·6 der Eisenbahn auf eine etwa 100 m lange, durch Sprengungen freigelegte Felswand, die uns hier zunächst nur interessiert wegen eines Gesteins, das manche Ähnlichkeit hat mit dem Augengranulit des sächsischen Granulitgebirges und allem Anscheine nach auch mit dem „Hornfelsgranulit“ Sueß' von Borry in Mähren. Es ist vor allem gut aufgeschlossen am westlichen Ende des Aufschlusses, es läßt sich aber auch noch weiter donauaufwärts verfolgen.

Das dunkle Gestein, oft mit einem Anflug von Rötlichviolett, bildet gleichmäßig dicke Lagen, die gewöhnlich durch einen sehr feinen Belag von dunklem Glimmer voneinander getrennt sind und sich daher in dieser Richtung leicht spalten lassen. Zu eigentlicher Bankung kommt es kaum. Ob es sich bei diesen Lagen um Schichtung oder Schieferung handelt, mag dahingestellt sein. Das erstere ist das Wahrscheinlichere, da eine feine, parallele Durchaderung die jetzige Ausbildung bereits vorfand. Es sind feine, helle Schnüre oder sehr dünne Bänder, die parallel diesen Lagen verlaufen und sich meist in bestimmten Abständen zu Augen erweitern. Sie sind innig mit dem Gestein verlötet. Stellenweise wird die Aderung stärker und die feinen Schnüre oder Schlieren zahlreicher. Es handelt sich hier um eine granulitische Injektion und um den Vorgang der Granulitisierung, den wir bereits kennen gelernt haben (S. 145). Sie wird nicht selten noch intensiver als bei dem oben beschriebenen Hornfelsgranulit; an einzelnen Stellen überwiegt sogar bei weitem das granulitische Material, in dem nur noch einzelne parallele Biotitlagen schwimmen. Andererseits findet man auch Partien, die kaum eine Mischung erkennen lassen. Hier gleicht der Gestein tatsächlich einem Hornfels.

Der ganze Gesteinskomplex ist nicht nur gestaucht, sondern stark gefaltet. Es kommen alle Arten von Falten vor, liegende, überkippte und sogar echte Doppelfalten. Trotzdem sind diese Falten, die hie und da bis 2 m mächtig werden können, örtlich sehr beschränkt, so daß man lieber von Verknetungen reden möchte. Ihr Charakter weicht sehr

ab von dem, was man bei gefalteten Gneisen gewohnt ist. Bei ihrer Betrachtung legt sich einem der Vergleich nahe mit dicken Gummipplatten, die man durch starken seitlichen Zusammenschub staucht und in Falten legt. Diese Faltung hat stattgefunden nach oder wahrscheinlicher während der granulitischen Injektion mit Augenbildung.

Dem Grade der Mischung nach kann man drei Typen unterscheiden: einen, bei dem man die parallelen feinen Adern nicht wahrnimmt, einen zweiten, bei dem dieselben deutlich, aber noch ziemlich fein sind, und einen dritten, bei dem das granulitische Material vorherrscht. Alle drei Typen finden sich dicht nebeneinander in einem kleinen Profil am westlichen Ende der besagten Wand.

Das erstere, mehr hornfelsartige, splittrig brechende Gestein läßt makroskopisch einzelne unregelmäßig verteilte und schlecht begrenzte Feldspäte erkennen. Mit der Lupe nimmt man sehr kleine Granaten und feine Sillimanitnadelchen wahr. Die sehr feinen Biotitschüppchen, die mit den Granaten die rötlichbraune Farbe bedingen, sind mit dem bloßen Auge nicht zu erkennen.

Mikroskopisch besteht dieses Gestein aus Quarz, Orthoklas mit perthitischen Einlagerungen, Mikroklin, Biotit, Granat, Sillimanit und wahrscheinlich Graphit. Größere unregelmäßige Körner von Quarz, Orthoklas und Mikroklin liegen in einer feinkörnigeren Grundmasse. Gerundete Granaten sind wieder von zwei Arten von Biotit umgeben und durchsetzt, einem rötlichbraunen primären und einem schwach grünlichen sekundären, der öfters in Chlorit umgewandelt ist. Eine Pseudomorphose von farblosem Glimmer mit scharfer seitlicher Begrenzung und unregelmäßigen Endungen gleicht vollkommen in Pinit umgewandelten Andalusiten, wie sie in sauren Ganggraniten derselben Gegend beobachtet wurden.

Nach dem kristalloblastischen Gefüge, das hier gar keine Ähnlichkeit hat mit dem des eigentlichen Granulits, kann man das Gestein nur Hornfels nennen. Ob eine Stoffzufuhr aus dem Granulit stattgefunden hat, läßt sich schwer sagen.

Der zweite Typus zeigt in verschiedenem Grade die erwähnte parallele Durchaderung. F. E. Sueß berichtet etwas Ähnliches aus Mähren (Jahrbuch 1900, S. 132), wenn er schreibt: „Auf den frischen Bruchflächen kann man hier zahlreiche weiße Feldspatadern sehen, welche meist der Parallelstruktur folgen und die stellenweise auftretende Fältelung mitmachen.“ In manchen Proben glaubt man schon einen dunklen Granulit vor sich zu haben, wie er nicht selten innerhalb des Hauptmassivs vorkommt.

Die mineralogische Zusammensetzung ist im wesentlichen die nämliche: Orthoklas, Mikroklin, Granat, Biotit, Sillimanit, dazu etwas Disthen, Zirkon und wenig Apatit.

Das am wenigsten granulitisch injizierte Gestein, das am meisten dem Augengranulit in Sachsen gleicht, unterscheidet sich von diesem mikroskopisch durch das bedeutend gröbere und mehr ungleiche Korn, wohl eine Folge der stärkeren granulitischen Durchdringung. Der Quarz, zum Teil gestreckt, überwiegt im allgemeinen den Kalifeldspat. Auffällig ist das fast vollständige Fehlen des Perthits. Der Biotit im Granat

erscheint wieder in der bekannten doppelten Ausbildung. Teilweise ersetzt er den Granat vollständig.

Der dritte Typus stellt den stärksten Grad der Granulitisierung dar. Teilweise bilden die biotitreichen Lagen nur noch linienartige, parallele Blätter. Ausnahmsweise wird der Biotit durch hornblendereiche, dünne Lagen vertreten. Sonst ist der Mineralbestand nicht viel verschieden; nur kommt hier ein etwas basischerer Plagioklas vor, nach Lichtbrechung ($\gamma > \omega$) und Auslöschungsschiefe ($\perp a$ um 8°) basischer Oligoklas. Quarz hat gewöhnlich das Übergewicht. Perthit ist sehr selten.

Die Struktur ist zumeist die protoblastische, die zum Teil mit Streckungserscheinungen am Quarz in die protoklastische übergeht.

Nach den geschilderten Verhältnissen kann kaum mehr gezweifelt werden, daß hier in der Tat granulitische Bildungen vorliegen, analog den Augengranuliten in Sachsen und den Hornfelsgranuliten von Mähren. Es sind Kontaktgesteine des trockenen Granulitmagmas, von diesem in verschiedenem Maße injiziert und durchtränkt. Die guten Aufschlüsse lassen in diesen Vorgang einen klaren Einblick tun. Es ist derselbe Vorgang, den wir oben an einem kleinen Handstück im kleinen studieren konnten und der keine andere Deutung zuläßt. Merkwürdig ist hier nur, gegenüber dem normalen Granulit, das häufige Auftreten von Mikroklin und das fast vollständige Fehlen von Perthit. Eigentümlichkeiten, die diese Gesteine mit dem Granulit von Fürholz (S. 169) gemeinsam haben. Der Grund ist nicht recht ersichtlich; möglicherweise ist er in bedeutend niedrigeren Temperaturen zu suchen, wie sie vielleicht in den äußeren Randzonen der granulitischen Massen geherrscht haben mögen. Jedenfalls läßt sich vorderhand nichts bestimmtes darüber aussagen.

F. E. Sueß, der allerdings in Mähren über „allgemeinen Mangel an Aufschlüssen“ klagen mußte, so daß sich der Hornfelsgranulit „kaum irgendwo in mächtigen selbständigen Bänken anstehend nachweisen läßt“, hielt dieses Gestein für eine „uralte Kontaktzone um eine ursprüngliche Eruptivmasse, welche nun in ein kristallines Schiefergestein umgewandelt ist“, während er gleichgeartete „dunkle Linsen, Streifen und Flecken im weißen Granulit“ für „veränderte Einschlüsse des Nebengesteins“ ansah. Beide sehr verschiedenen Gesteine sollen „derselben Fazies der Metamorphose, einer granulitoiden Metamorphose“, anheim gefallen sein (24, S. 623 und 647; 18, S. 623).

Wir haben oben bei der Besprechung der Struktur ausführlich untersucht, was von der hypothetischen Metamorphose des Granulits zu halten ist, und gezeigt, daß die „kristalloblastischen Strukturen“ des eigentlichen Granulits höchstwahrscheinlich entstanden sind durch das Zusammenwirken von Protoklase und Protoblastese. Das ist nicht nur die einfachere Erklärung, die daher einer komplizierten vorzuziehen ist, sie erhält auch durch das Verhalten vom Granulit zum injizierten Hornfels und zu den mannigfach gestalteten Einschlüssen als prä-kristallinen Tektoniten ihre volle Bestätigung. Wenn daher der Granulit ein ursprüngliches Gebilde darstellt, dann muß dasselbe auch von den Hornfelsgranuliten behauptet werden, die nach allem nichts anderes

sind als graduell verschiedene Mischgesteine des Granulits. Der Name „Hornfelsgranulit“ aber ist sehr glücklich gewählt und sollte für diese Gesteine beibehalten werden, weil er sehr gut die Doppelnatur derselben zum Ausdruck bringt.

5. Die Vergneisung des Granulits.

Eine weitere Erscheinung, die an demselben Aufschluß zu beobachten ist, wurde noch nicht erwähnt, es ist die nachträgliche granitische Vergneisung¹⁾ des Granulithornfelses.

Hier, an der über 100 m aufgeschlossenen Felswand, sieht man außer anderen granitischen Ganggesteinen auch protoklastische saure Ganggranite den Granulithornfels durchsetzen, teils in größeren Massen, teils in schmalen Gängen, öfters mit pegmatitischem Salband. Sie stehen gewöhnlich in diskordantem Verhältnis zum Granulithornfels; feinere Adern dringen aber auch in die Schichtfugen ein und verursachen neue Mischungen. Man unterscheidet das granitische Material leicht von dem granulitischen; denn das Korn ist ganz verschieden und das Verhalten zum injizierten Gestein ist ein durchaus anderes, wie wir gesehen haben. Daß es sich dabei um echte granitische Intrusionen und Injektionen handelt, kann nach der Untersuchung dieser Gesteine nicht zweifelhaft sein. Während nun die meist sehr feinen und äußerst feinkörnigen granulitischen Äderchen streng parallel verlaufen und aufs innigste mit dem Hornfels verschmelzen, bildet der Granit gewöhnlich gröber körnige, unregelmäßige Adern, Linsen und Flammen, die in ganz anderer Weise sich mit dem Hornfels verschweißen, was besonders auf angewitterten Flächen gut wahrzunehmen ist. Und wenn die Durchtränkung einen bedeutenderen Grad erreicht, so erkennt man den Granulithornfels gar nicht wieder, es ist aus ihm ein „Gneis“ geworden, ein nachträgliches granitisches Mischgestein. Hier vor allem kommt der ganz und gar abweichende Charakter des an Mineralisatoren reichen granitischen Magmas gegenüber dem trockenen und gasarmen des Granulits so recht zum Ausdruck. Es entstehen Gesteine, die gar keine Ähnlichkeit mehr haben mit Granulit, Gesteine, die auch primären Muskovit führen, der dem Granulit stets fehlt.

Dieser Vorgang der Vergneisung, der hier klar zu übersehen ist, ist gewiß keine vereinzeltete Erscheinung, man darf vielmehr vermuten, daß er bei den schiefrigen Hornfelsgranuliten unseres Gebietes die Regel ist und daß nur zufällig diese Gesteine im wesentlichen vor der Vergneisung verschont blieben. Auch bei Granz, also im eigentlichen Granulitmassiv, scheinen schiefrige Granulite dieser Vergneisung anheimgefallen zu sein. Zwar wurden derartige Gesteine nicht anstehend angetroffen, aber unter den zum Schutze der Donauufer angeschütteten Granulitblöcken finden sich von Aplitadern ausgehende Vergneisungen, die nach der mikroskopischen Untersuchung neben den Bestandteilen

¹⁾ „Vergneisung“ wird hier gebraucht im Sinne von Granitisation. Neben anderen Gründen war dafür vor allem bestimmend, daß Scheumann auch im sächsischen Granulitgebirge in bezug auf die etwas späteren granitischen Intrusionen von Vergneisung spricht (Scheumann, Tagung der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft in Göttingen 1921).

des Granits die des Granulits, echten granulitischen Perthit und Graphit, enthalten.

Man wird daher erwarten müssen, daß man noch an anderen Stellen des weiten, durch den Granit vergneisten Gebietes zwischen Marbach und der Grenze des Batholithen von Grein-Sarmingstein nicht nur Ausläufer des Hauptgranulitmassivs samt deren Kontakt- und Injektionszonen antreffen wird, sondern auch deren weitgehende Vergneisung in vielen Fällen wird feststellen können.¹⁾ Der Granit fand eben die schiefrigen Gesteine der Gegend bereits durch den Granulit umgewandelt vor in Form von Hornfelsgranuliten und vielleicht noch anderen Kontaktgesteinen; dafür spricht die Verbreitung der beobachteten, weit voneinander entfernten Granulitvorkommen.

Derartige spätere Vergneisungen scheinen die meisten Granulitmassive betroffen zu haben, so in Sachsen, im niederösterreichischen Waldviertel, in Mähren, im Krumauer Gebiet in Böhmen und an anderen Orten. Naturgemäß sind es vor allem die schiefrigen Randzonen, die am ehesten davon ergriffen werden, während die richtungslos-körnigen Granulite mehr von aplitischen und pegmatitischen Gangbildungen erfüllt sind. Da letztere dem trockenen, gasarmen granulitischen Magma aller Voraussicht nach fehlen und fehlen müssen, so wird man diese wie auch alle Produkte der Pneumatolyse, z. B. Turmalingranite innerhalb der Granulitmassive, den später nachdringenden Graniten zuzuschreiben haben. Turmalingranulite aber, wie z. B. bei Krumau in Böhmen, sind nichts anders als durch Turmalingranite beeinflusste Granulite, zumal dieselben ja nach Hochstetter in Turmalingranite übergehen (9, S. 15).

Vielfach werden vom Granulit eigentümliche Lagerungsformen beschrieben. Dem Gewölbebau des sächsischen Granulitgebirges stehen nach F. E. Sueß (17, S. 521) in Böhmen und Niederösterreich andere Granulitvorkommen mit anderen Lagerungsverhältnissen, Fächerformen, konkordanten Einlagerungen gegenüber. Hochstetter schildert aus dem Gebiet von Krumau neben gewölbeartig auftretenden Granulitmassen auch flache oder ellipsoidische muldenförmige Einlagerungen im Gneis (9, S. 66). Ähnliche flach muldenförmige Lagerung berichtet Himmelbauer aus dem kleinen Granulitmassiv in der Horner Bucht (3, S. 219).

Man ist nun geneigt, derartige Lagerungsformen mit Dislokationen in Verbindung zu bringen und als Deckschollen zu erklären (11, S. 99).²⁾

¹⁾ Das nämliche gilt auch für das nach Osten sich anschließende Gebiet bis Emmersdorf. Ja, es ist durchaus nicht unwahrscheinlich, daß sämtliche Granulitvorkommen innerhalb der böhmischen Masse zeitlich und genetisch zusammengehören und daß zumindest ein großer Teil der ursprünglich sedimentären Bildungen der heutigen Gneisgebiete zu beiden Seiten des Granitbatholithen dem Granulit ihre erste Umwandlung verdanken (Eklogitfazies). Erst später kamen letztere unter den Einfluß des sich darunter hinziehenden Granits (Vergneisung). Zum Granit aber dürften die Granulite im selben Verhältnisse stehen, wie das sächsische Granulitgebirge zu den Erzgebirgsgneisen und -graniten.

²⁾ Neuerdings hat F. E. Sueß die Vermutung ausgesprochen, daß es sich bei den Granuliten der böhmischen Masse um umgewandelte altpaläozoische Quarzporphydecken handeln könnte (Mitteilungen der Wiener Mineralogischen Gesellschaft, 1921, Nr. 83, Monatsversammlung 5. Dezember 1921). Dagegen spricht in unserem Gebiete neben den von Becke bei derselben Gelegenheit vorgebrachten Schwierigkeiten der deutliche Intrusionsverband.

Solche Auffassungen werden für manche granitische Ortho- und Mischgneise, wie den Gföhler Gneis, durchaus zutreffend sein. Für die eigentümlichen Lagerungsverhältnisse beim Granulit aber liegt eine andere Erklärung näher, eine Erklärung, die auf der Tatsache der Vergneisung beruht. Dafür ein Beispiel! Nach Himmelbauer wird das erwähnte Granulitmassiv der Horner Bucht mit flach muldenförmiger Lagerung allseitig „von einem grobkörnigen, hellen, sehr frischen Orthogneis umgeben, der sehr wenig schiefrig ist und dadurch einem Granit näherkommt“ (4, S. 220). Dieser sicher jüngere Granitgneis hat also vor allem an den Grenzen des kompakten Granulitmassivs sich einen Weg gebahnt und, falls er dort schiefrige Gesteine, geschieferte Granulite und Hornfelsgranulite antraf, gewiß auch Mischgneise geschaffen. Diese den Granulit wie einen Fremdkörper umgebenden und unterteufenden Gneise können sehr gut eine muldenförmige Auflagerung des Granulits vortäuschen; entsprechende Paralleltexuren werden dadurch allerdings ohne weiteres nicht erklärt.

In ganz ähnlicher Weise liegen die Verhältnisse nach Hochstetter bei Krumau; und ebenso dürften auch andere Lagerungsformen ihre befriedigende Deutung finden.

Feststellungen in dieser Richtung wären auch deshalb von Wert, weil gerade diese sonderbaren Lagerungsverhältnisse seit Hochstetters Zeiten als Beweis gegen die eruptive Natur des Granulits oder doch gegen den Charakter desselben als eines ursprünglichen Eruptivgesteins ins Feld geführt wurden, da man darin ein Zeugnis für gewaltige Dislokationen sah, denen der Granulit seine vorliegenden Eigentümlichkeiten verdanken sollte.

Rückblick.

Über kaum ein anderes Gestein sind seit Naumanns Zeiten die Meinungen so auseinandergegangen als über den Granulit. Dieser erste Forscher auf diesem Gebiete hat bereits vor etwa 90 Jahren, wenn auch mit manchen irrigen Nebenvorstellungen und unrichtigen Auffassungen im einzelnen, die eruptive Natur des sächsischen Granulits im wesentlichen richtig erkannt und dieselbe mit aller Entschiedenheit verteidigt, ohne sich durch irgendwelche Schwierigkeiten in der Deutung mancher Erscheinungen beirren zu lassen. Anderen Forschern schienen diese indes so groß und unlösbar, daß sie andere Erklärungsmöglichkeiten heranziehen zu müssen glaubten. So wußte Hochstetter bei dem fast richtungslos-körnigen Granuliten von Krumau in Böhmen die muldenförmige oder elliptische Einlagerung in Gneis in keiner Weise mit der eruptiven Natur in Einklang zu bringen. Sie waren daher nach seiner Auffassung Urgesteine, gleichzeitig entstanden mit der „Gneisformation“ (S. 175). Andere vermochten sich bei der Auffassung des Granulits als Eruptivgestein den überaus starken Wechsel in den zahllosen parallelen Lagen, die eigentümlichen Augengranulite und hälleflintartigen Gebilde sowie die Mannigfaltigkeit der unter dem Namen der Pyroxengranulite zusammengefaßten Einlagerungen nicht zu erklären. Vornehmlich Stelzner sträubte sich gegen den Gedanken, daß ein

eruptives Magma sich bei seiner Verfestigung in tausendfacher Wiederholung in scharf begrenzte und chemisch und mineralogisch so ganz verschiedene Gesteine gegliedert habe. Wegen der auffallenden Ähnlichkeit ihrer Verknüpfung mit dem Wechsel von verschiedenartigen sedimentären Gesteinen dachte er denn auch wie andere Geologen an Aufschmelzung von Sedimenten in großen Tiefen, und selbst Lehmann, der die eruptive Natur klar erkannte, wagte nicht, diese Auffassung ohne weiteres von der Hand zu weisen (13, S. 234). Wieder andere, wie Dathe und Scheerer, erblickten die Schwierigkeiten mehr in dem eigentümlichen Charakter der Pyroxengranulite, die oft so gar keine Ähnlichkeit haben mit echten Eruptivgesteinen (13, S. 234).

Vielen von diesen Schwierigkeiten suchte Lehmann zu begegnen durch die Theorie von der pseudoeruptiven Natur des Granulits (13, S. 237). Nach ihm ist der Granit ein wirkliches Eruptivgestein vom chemischen Typus eines Granits oder Syenits, das aber erst infolge von starker Durchbewegung nach der Erstarrung während gewaltiger gebirgsbildender Prozesse seine heutigen textuellen wie mineralogischen Eigentümlichkeiten erhielt. Dieser durchaus gewissenhafte Forscher, dem wir vor allem gute und zuverlässige Beobachtungen und Beschreibungen der Verhältnisse im sächsischen Granulitgebirge verdanken, überschätzte wohl die Bedeutung der dynamometamorphen Beeinflussung, die zweifellos in Sachsen außerordentlich stark ist, die aber bei anderen Granulitvorkommen mit denselben wesentlichen Merkmalen oft fast ganz fehlt. Ähnliche Anschauungen vertrat auch sein Schüler Danzig, der im übrigen durch eine ganze Anzahl sehr guter Beobachtungen den eruptiven Charakter des Granulits außer Zweifel stellte (6, S. 6).

Lepsius (14), der besonders für die Ursprünglichkeit der Ausbildung der wesentlichen Eigentümlichkeiten des Granulits von Sachsen eintrat und dieselben erklärte durch Aufschmelzung von Sedimenten, alten Eruptivgesteinen und deren Tuffen, und Credner (5), der ihm schließlich hierin folgte, gingen bei ihren Auffassungen meist von theoretischen Erwägungen aus, ohne die tatsächlichen Verhältnisse eingehender zu kennen. Ihre Ausführungen werden daher im einzelnen starker Korrekturen bedürfen. Trotzdem scheint Lepsius doch in den Grundzügen richtig geschaut zu haben: Der Granulit ist ein ursprüngliches Erstarrungsgestein, das in die Schiefer eindrang, diese in weitgehendem Maße einschmolz; dabei gingen Kieselsäure, Kali und Tonerde in den Bestand des Magmas über, während basischere Gesteine eruptiver oder sedimentärer Entstehung mehr oder weniger aufgeschmolzen und vielfach durch tektonische Bewegungen zu Lagen und Linsen ausgezogen wurden. Scheumanns neuere Feststellungen über den in erheblichen Beträgen hybriden Charakter der Granulite und die Ausschlierung der basischen Einlagerungen haben die Vermutungen Lepsius' in der Hauptsache bestätigt (21 und 22).

Nach allem scheint der Granulit als das saure Glied der Charnockitserie aufzufassen zu sein, welche Ansicht Becke in Übereinstimmung mit Weinschenk (34, S. 49, 35) vertritt (Monatsversammlung der Wiener Mineralogischen Gesellschaft vom 5. Dezember 1921, Mitteilungen der

Wiener Mineralogischen Gesellschaft 1921, Nr. 83), indem er die betreffenden Gesteine von Indien (Madras) und Ceylon den verschiedenen Granulitvorkommen von Niederösterreich, Böhmen und Sachsen als gleichwertig an die Seite stellt. Allen diesen Vorkommnissen sind gewisse wesentliche Merkmale gemeinsam, die sie sofort als Granulit erkennen lassen. Unterschieden sind sie allem Anscheine nach nur durch das ungleiche Maß von Druckbeanspruchung und Durchbewegung, besonders während der postmagmatischen Periode. Daß man sich auch diese mechanischen Umformungen, denen auch wohl ein Teil der Metamorphose zuzuschreiben ist, in unmittelbarem Anschluß an die Erstarrung zu denken hat, kann nach den neueren Untersuchungen von Scheumann und Tertsch kaum mehr zweifelhaft sein.

Im Anschlusse hieran noch ein Wort zur Graphitfrage! Wir haben den Graphit als einen Bestandteil des Granulits kennen gelernt und sind ihm im Laufe unserer Untersuchungen wiederholt begegnet. Dieser kristalline Kohlenstoff ist wohl aus anderen Eruptivgesteinen, besonders aus Pegmatiten, bekannt geworden, aus Granuliten anscheinend noch nicht.¹⁾ Vielleicht kann diese Beobachtung einiges Licht werfen auf die Entstehung der Ceyloner Graphitgänge, die ebenfalls im Granulit aufsetzen. Wenn E. Kaiser neuerdings für die eigentümlichen stockartigen und gangähnlichen Lagerungsformen des Graphits von Passau eine Erklärung heranzieht, wonach derselbe nur scheinbar eruptiv sein soll, im Sinne der mobilen Schichten Stilles (10, S. 323), so ist diese Deutung für die Graphitgänge von Ceylon ausgeschlossen. Hier ist der Graphit an Ort und Stelle kristallisiert, und zwar im festen, aber noch glühend heißen Granulit; das beweist der grobschuppige Graphit senkrecht zu den Kluftwänden. Bekanntlich spielten bei den Vorstellungen Weinschenks²⁾ über die Entstehung der Graphite von Ceylon und ebenso von Passau pneumatologische Vorgänge eine wesentliche Rolle. Letztere sind aber bei der Natur des Granulits, wie wir gesehen haben, so gut wie ausgeschlossen.

M. Weber scheint da das Rechte getroffen zu haben, wenn er den Graphit aus aufgeschmolzenen kohlehaltigen Schiefen ableitet, wenn er auch über die Art und Weise der Ausscheidung nichts Sicheres auszusagen weiß (32). F. E. Sueß (27, S. 253) denkt für die zahlreichen Graphitvorkommen innerhalb der böhmischen Masse an Anreicherung des Graphits durch Sublimierung aus bituminösen Gesteinen während der Metamorphose in großen Tiefen, und Mohr hat diesen Gedanken weiter ausgeführt (15, S. 111 bis 145). Beobachtungen an Marmorbänken, wo der Graphit nach den Rändern abwandert, scheinen sehr zugunsten dieser Theorie zu sprechen.

1) Siehe Fußnote Seite 143.

2) Weinschenk war allem Anscheine nach über die Granulite von Ceylon, die er ja nicht aus eigenen Beobachtungen kennen zu lernen Gelegenheit hatte, nicht genügend unterrichtet. So betrachtete er die echten Pegmatite im Granulit als zu diesem gehörig, dann wäre allem Anscheine nach auch eine Pneumatolyse möglich gewesen. Überhaupt gestand Weinschenk öfters, daß ihm der Granulit eines der größten Rätsel in der Petrographie sei.

Sollte man nun die Graphitgänge im Granulit nicht in ähnlicher Weise deuten können als Wiederausscheidung größerer Massen von aufgenommenen Kohlenstoff durch eine Art Sublimierungsprozeß?

Wie man sich die Vorgänge auch vorstellen mag, das eine scheint sicher zu sein, daß, wenn der Granulit Kohlenstoff in großen Mengen aufzunehmen vermag, er denselben auch in irgendeiner Form wieder auszuscheiden imstande ist.

Ergebnisse.

1. Mineralogische Eigentümlichkeiten.

1. Granat mit orientierten Rutileinlagerungen nach den Rhombendodekaederflächen (S. 143).
2. Zweiachsiger Apatit (S. 166).
3. Perthiteinschlüsse mit Rand von Plagioklas im Granat (S. 142 und 170).
4. Zwei Arten von Biotit in und um Granat, ein primärer rotbrauner, ein sekundärer schwach grünlicher (S. 170 und 172).

2. Petrogenetische Ergebnisse.

1. Der Granulit ist ein wirkliches Intrusivgestein; das beweisen: *a*) Apophysen und Linsen im Nebengestein (S. 161 und 163), *b*) diskordante Injektionsadern (S. 145 und 161), *c*) parallele Adern auf den Schichtfugen des kontakmetamorphen Nebengesteins, teilweise mit Bildung von Feldspat-Augen (S. 145 und 171).

2. Der Granulit stellt allem Anscheine nach, im Gegensatz zum Granit, ein saures, wasser- und gasarmes Magma dar, nämlich das saure Glied der Charnockitreihe. Das scheint zu folgen neben der meist feinkörnigen Ausbildung: *a*) aus dem Fehlen eigentlicher Pegmatite (S. 152), *b*) aus dem Mangel jeglicher Anzeichen von Pneumatolyse (S. 175), *c*) aus dem vollständigen Fehlen vom primären Muskovit, *d*) aus bestimmten Eigentümlichkeiten der Kontaktmetamorphose (S. 154), *e*) aus dem ganz verschiedenen Verhalten der granulitischen Injektionen zum Beispiel im Hornfelsgranulit gegenüber solchen von Granit (S. 174).

3. Viele Granulite sind offenbare Mischgesteine, die noch jetzt den Mischungsvorgang klar erkennen lassen („hybride Granulite“ Scheuermanns). Oft lassen solche hybride Granulite noch deutlich die Reste des unvollkommen resorbierten Schiefergesteins an der Anordnung und Anreicherung der Tonerdemineralien Granat, Disthen, Biotit, Sillimanit erkennen (S. 147 bis 151).

4. Selbst der typische Weißstein mit Granat und Zyanit ist wahrscheinlich ein hybrides Gestein, das seinen Tonerdeüberschuß, der sich in den oft sehr reichlichen Tonerdemineralien zu erkennen gibt, im wesentlichen der Auflösung tonigen Nebengesteins verdankt. Das scheint hervorzugehen: *a*) aus der großen Anzahl von Resten des Nebengesteins, die in vielfach richtungslos körnigem Granulit schwimmen (S. 147 bis 151), in deren Umgebung *b*) die Mineralien Granat, Zyanit usw. sich oft bedeutend anreichern (S. 151), *c*) aus dem oft beobachteten Graphit, der offenbar dem aufgelösten Nebengestein entstammt (S. 143, 148, 150, 152, 170).

5. Der Granulit ist ein Eruptivgestein, das in vielen Fällen keine wesentliche postmagmatische Metamorphose mehr durchgemacht hat, das seine besonderen Eigentümlichkeiten vielmehr ursprünglich erworben hat durch das Zusammenwirken von Protoklase und Protoblastese (S. 154 bis 160). Die eigentümliche Mineralparagenese: Granat, Disthen, Sillimanit, Rutil ist das Produkt der Piezokristallisation in großer Tiefe (S. 156 und 157).

6. Die Resorptionsfähigkeit des granulitischen Magmas ist zwar groß, scheint aber dennoch begrenzt zu sein und sich im allgemeinen zu beschränken auf tonige oder tonig-sandige Sedimente, während basische Gesteine sedimentärer oder eruptiver Herkunft gewöhnlich scharf gegen den Granulit absetzen und meist parallele Lagen und Linsen bilden (S. 168).

7. Diese oft zahlreichen, verschieden mächtigen, basischen Einlagerungen sind keine Differenzierungen im granulitischen Magma, sondern Fremdkörper, die ihre Form und Lagerung einem seitlichen Ausweichen des zähflüssigen Magmas quer zum Gebirgsdruck verdanken (S. 169). Wo diese Fließbewegungen fehlten, kommen auch andere Lagerungsformen vor (S. 161).

8. Derartige unter dem Namen der Pyroxengranulite zusammengefaßte Gesteine: Amphibolit, Diallagamphibolit, Pyroxenit, Eklogit, Trappgranulit sind teils Kontaktgesteine des Granulits, teils Produkte der vollständigen Einschmelzung, z. B. Trappgranulit und Gabbro (S. 161 bis 169).

9. Die Hornfelsgranulite sind granulitische Kontaktgesteine, die in den meisten Fällen parallel der Schichtung oder Schieferung granulitisch injiziert wurden; dabei bildeten sich vielfach Feldspat-Augen: Augengranulite (S. 171 bis 174).

10. Die meisten Granulitmassive wurden von einer späteren Granitisation, einer granitischen Vergneisung betroffen; ihr fallen vor allem die schiefrigen Granulite und Hornfelsgranulite zum Opfer (S. 174 und 176).

11. Viele eigentümliche Lagerungsformen, besonders Mulden, Decken und Einlagerungen, sind wohl in vielen Fällen auf die spätere granitische Vergneisung zurückzuführen, indem der den Granulitkörper umgebende Granitgneis (Ortho- oder Mischgneis) denselben scheinbar unterteuft, überlagert oder einschließt (S. 176).

Die Belegstücke befinden sich in den Vergleichssammlungen der Geologischen Landesanstalt zu Darmstadt, dessen Direktor, Herr Oberbergrat Professor Dr. G. Klemm, in entgegenkommendster Weise einen Arbeitsplatz einräumte und durch Rat und Tat stets das lebhafteste Interesse an den Untersuchungen bekundete. Ihm sei an dieser Stelle der aufrichtigste Dank ausgesprochen. Desgleichen Herrn Dr. K. H. Scheumann, Leipzig, für manche wertvolle briefliche Winke und Fingerzeige.

Darmstadt, den 15. März 1923.

Literaturnachweis.

(Die eingeklammerten Zahlen im Text bedeuten Nummer und Seitenzahl.)

1. Becke, F., Die Gneisformation des niederösterreichischen Waldviertels, Tschermaks min.-petrograph. Mitteilungen, 1882.
2. —, Über Mineralbestand und Struktur der kristallinen Schiefer, Denkschriften der kais. Akademie der Wissenschaften, Wien 1913.

3. Becke, F., Piezokristallisation und Kristallisationsschieferung, X. Intern. Geologenkongreß, Mexiko.
4. —, Himmelbauer, A., Reinhold, F., Görgey, R., Das niederösterreichische Waldviertel, Tschermaks min.-petrograph. Mitteilungen, 1913.
5. Credner, H., Die Genesis des sächsischen Granulitgebirges, Zentralblatt für Mineralogie, Geologie, Paläontologie, 1907.
6. Danzig, E., Über die eruptive Natur gewisser Gneise. Inaug.-Diss., Kiel 1888.
7. Grengg, R., Der Diallagamphibolit des mittleren Kamptals, Tschermaks min.-petrograph. Mitteilungen, 1910.
8. Grubenmann, U., Die kristallinen Schiefer, 1910.
9. Hochstetter, F., Geognostische Studien im Böhmerwalde, Jahrb. d. k. k. Geol. Reichsanstalt, 1854.
10. Kaiser, E., Zur Entstehung der Passauer Graphitlagerstätten, Geolog. Rundschau, 1922.
11. Kölbl, L., Zur Deutung der moldanubischen Glimmerschieferzone im niederösterreichischen Waldviertel, Jahrb. d. Geol. Bundesanstalt, Wien 1922.
12. Koßmat, F., Geologie von Sachsen.
13. Lehmann, Joh., Untersuchungen über die Entstehung der altkristallinen Schiefergesteine usw. Bonn 1884.
14. Lepsius, R., Geologie von Deutschland, 1910.
15. Mohr, H., Über die Entstehung einer gewissen Gruppe von Graphitlagerstätten, Berg- und Hüttenmänn. Jahrb., Wien-Berlin 1920.
16. Naumann, C. F., Über die Bildung der sächsischen Granulitformation, Jahrb. der k. k. Geol. Reichsanstalt, 1856.
17. Neumayer-Sueß, Erdgeschichte, Leipzig-Wien 1920.
18. Rosenbusch, H., Elemente der Gesteinslehre, 1910.
19. —, Physiographie der petrograph. wichtigen Mineralien, I., 2. 1905.
20. Salomon, W., Grundzüge der Geologie, Allgemeine Geologie, I. Teil, Innere Dynamik; L. Milch, Umwandlung der Gesteine, S. 267, 1922.
21. Scheumann, K. H., Das kinematische Moment in dem Prozeß der Metamorphose des sächsischen Mittelgebirges, Zeitschrift für Kristallographie, Bd. LVI, Heft 4.
22. —, Über Intrusiv-, Injektions- und Assimilationsverband des Granulits mit Derivaten der Peridotit-Gabbro-Amphibolitreihe im sächsischen Granulitgebirge. Zeitschrift für Kristallographie, Bd. LVII, Heft 5.
23. Schwenkel, H., Die Eruptivgneise des Schwarzwaldes, Tschermaks min.-petrograph. Mitteilungen, 1912.
24. Sueß, F. E., Der Granulitzug von Borry in Mähren, Jahrb. d. k. k. Geol. Reichsanstalt, 1900.
25. —, Das Grundgebirge im Kartenblatt St. Pölten, Jahrb. d. k. k. Geol. Reichsanstalt, 1904.
26. —, Die Perthitfeldspäte aus kristallinen Schiefergesteinen, Jahrb. d. k. k. Geol. Reichsanstalt, 1904.
27. —, Beispiele plastischer und kristalloblastischer Gesteinsumwandlung, Mitteilungen der Geolog. Gesellschaft, Wien 1909.
28. —, Die Moravischen Fenster, Denkschriften der mathem.-naturwiss. Klasse der kais. Akademie der Wissenschaften, Wien 1912.
29. —, Bemerkungen zur neueren Literatur über die moravischen Fenster, Mitteilungen der Geol. Gesellschaft, Wien 1918.
30. Tertsch, H., Studien am Westrande des Dunkelsteiner Granulitmassivs, Tschermaks min.-petrograph. Mitteilungen, 1917.
31. —, II. Teil, Tschermaks min.-petrograph. Mitteilungen, V. und VI. Heft, 1922.
32. Weber, M., Metamorphe Fremdlinge in Erstarrungsgesteinen, Sitzungsberichte der königl. bayrischen Akademie der Wissenschaften 1910, 13. Abhandlung.
33. Weinschenk, E., Grundzüge der Gesteinskunde, I., 1913.
34. —, Grundzüge der Gesteinskunde, II., 1907.
35. —, Die Graphitlagerstätten der Insel Ceylon, Abhandlungen der königl. bayrischen Akademie der Wissenschaften, 1900.

Inhaltsangabe.

	Seite
Einleitung	139
1. Das eigentliche Granulitmassiv:	
1. Die Verhältnisse im allgemeinen	140
2. Das normale Gestein	141
3. Granulitische Mischgesteine	144
4. Einschlüsse im Granulit	147
5. „Pegmatitische“ Schlieren und Gänge	152
6. Die Struktur der Granulite	153
2. Größere Einlagerungen:	
1. Allgemeines	160
2. Anschluß bei Kilometer 50·5	161
3. Steinbruch bei Granz, Kilometer 51	163
3. Weitere kleinere Granulitvorkommen:	
1. Oberhalb Fürholz	169
2. Im Isperstal	170
4. Die Augengranulite (Hornfelsgranulite):	
1. Schilderung der Verhältnisse	171
2. Drei Grade der Mischung	172
5. Die Vergneisung	174
Schluß: Rückblick	176
Ergebnisse:	
1. Mineralogische	179
2. Petrogenetische	179