

Beispiele plastischer und kristalloblastischer Gesteinsumformung.

Von Franz E. Suess.

(Mit 3 Lichtdrucktafeln).

Die Plastizität der Gesteine ist ein anderes Problem, als die Plastizität von Kristallen und anderen einfachen Körpern. Es handelt sich hier stets um kombinierte Vorgänge verschiedener Art. Die plastische Deformation der einzelnen Mineralkörner dürfte bei Umformungen im Großen nur eine geringe Rolle spielen. Die Funktion, welche man als reziproke innere Reibung bezeichnet, gleichsam das Flüssigkeitsmoment im einfachen festen Körper, wird durch Vorgänge verschiedener Art in den Gesteinen vertreten: sei es die Verschiebbarkeit oder mehr oder weniger elastische Biegsamkeit kleinster Teilchen, sei es teilweise Aufschmelzung und Verfestigung durch vorübergehende örtliche Erwärmung, sei es die Beimengung von halbflüssigen Stoffen, sei es die Zertrümmerung und Wiederverkittung der Mineralkörner, oder sei es Lösung und Neukristallisation der Minerale, welche Schritt hält mit der Umformung des Gesteinskörpers oder ihr voraneilt, so daß hiedurch eine Zertrümmerung im Einzelnen nicht zustande kommen kann. E. Reyer¹⁾ unterschied bereits 1888 verschiedene Arten der Gesteinsplastizität und betonte insbesondere die hervorragende Bedeutung der Lösungsplastizität bei geologischen Vorgängen.

Plastizität durch Verschiebung der Teilchen ist nur denkbar in relativ weichen Gesteinen und in der Nähe der Oberfläche. In tiefen Teilen der Erdrinde vollzieht sich die plastische Umformung der Gesteinskörper nur durch Lösungsplastizität; die Stoffe streben zugleich nach einem neuen chemischen Gleichgewichte, und die Neukristallisation erfolgt unter neuer Gruppierung der Molekel zu einem geänderten Mineralbestande. Es ist der Vorgang der kristalloblastischen Umwandlung,

¹⁾ E. Reyer, Theoretische Geologie. Stuttgart 1888, S. 445.

welchen Becke und Grubenmann²⁾ eingehend definiert haben und durch welchen zugleich die Umwandlung von Eruptivgesteinen und Sedimenten zu kristallinen Schiefern erklärt wird. Durch das orientierte Wachstum der einzelnen Minerale unter einseitigem Druck oder Zerrung (Stress) entsteht Kristallisationsschieferung zugleich mit der örtlichen Auswalzung oder Anschwellung der Schichten, ohne daß der Zusammenhang unterbrochen wird. In solchen kristalloblastisch umgeformten Gesteinen sind auch unter dem Mikroskop keine Spuren einer Zertrümmerung der Bestandteile wahrzunehmen.

Im Gegensatz zur plastischen steht die ruptuelle Umformung der Gesteine. Die gegenseitigen Bedingungen zwischen plastischer und ruptueller Umformung sind mannigfacher Art und nebst der physikalischen Beschaffenheit, dem Grade und der Dauer, bzw. der Geschwindigkeit der deformierenden Einwirkung, spielen in bezug auf die Gesteine noch örtliche Momente der Gestalt und des Zusammenhanges eine bedeutende Rolle. Gesteigerter allseitiger Druck erhöht die Plastizität und bekanntlich sind nach Heims³⁾ Anschauung in großer Tiefe alle Gesteine imstande, sich jeder Gestaltsveränderung bruchlos anzupassen.

Wenn jedoch ungleiche Gesteine aneinander grenzen, wenn spröde Gesteinsbänke oder Einschlüsse von plastischeren Massen umgeben sind, werden die ersteren nicht Schritt halten können mit dem rascheren Flusse, durch welchen die Umgebung der deformierenden Kraft nachgibt; sie werden innerhalb des kompakten Gesteinsverbandes zertrümmert. Ausgüsse von Fossilien, bestehend aus derselben Masse wie das umgebende Gestein, werden zugleich mit diesem bruchlos verzerrt. Die spröden Belemniten, aus den weichen Oxfordmergeln der Waldenser Alpen, sind nicht verbogen, sondern quer gebrochen und oft zu losen Ketten zahlreicher Bruchstücke auseinandergezerrt. In den Räumen zwischen den einzelnen Gliedern ist weißer, kristallinischer Kalkspat angesiedelt, welcher durch Lösung aus dem umgebenden Gestein dahin gebracht wurde.

²⁾ F. Becke, Ueber Mineralbestand und Struktur der kristallinischen Schiefer. Denkschriften d. kais. Akademie der Wissenschaften, Bd XXV, 1903; U. Grubenmann, Die kristallinen Schiefer. Berlin 1904.

³⁾ A. Heim, Mechanismus der Gebirgsbildung. 1878.

Die Plastizität dieser Gesteine ist rein mechanischer Art, nur durch die Verschiebung der Teilchen hervorgerufen; die Ausheilung der Zwischenräume zwischen den Belemnitengliedern ist jedoch bereits als eine Art Lösungsplastizität zu betrachten.

Ungleiche Löslichkeit zweier benachbarter Gesteine wird in größeren Tiefen zu gleichen Erscheinungen führen, wie ungleiche Sprödigkeit in geringeren Tiefen. Der Gegensatz wird am stärksten hervortreten, wo Silikatgesteine eingelagert sind in die viel leichter löslichen Karbonatgesteine. Die ungleiche Geschwindigkeit der Neukristallisation kann auf diese Weise auch in jenen Regionen, in welchen die Minerale der tieferen Umwandlungsstufen kristallisieren und welche die Amerikaner als Zone des Gesteinsfließens („Zone of rock Flowage“⁴⁾ bezeichnen, örtliche Gesteinszertrümmerung zur Folge haben.

Nicht wenige Beispiele dieser Erscheinung sind bereits in der Literatur bekannt geworden. Allerdings werden sie nicht immer in demselben Sinne gedeutet wie hier.⁵⁾ Die im folgenden beschriebenen Beispiele aus dem moldanubischen Grundgebirge von Mähren und Niederösterreich geben nicht nur das äußere Bild der ungleichen Plastizität der Karbonat- und Silikatgesteine in besonderer Klarheit wieder, sie gestatten auch den Nachweis, daß die plastische Umformung tatsächlich von Lösung und Kristallisation, ja sogar von chemischem Austausch und Neubildung von Mineralien begleitet war.



Das moldanubische Grundgebirge von Niederösterreich und Mähren*) enthält neben größeren Gebieten von orthoklasreichen Orthogneisen, Granuliten und basischen Massen, auch ausgedehnte Zonen mannigfaltiger Paraschiefer. Alle Hauptgruppen von Sedimenten sind hier dem stofflichen Bestande nach vertreten. Sehr verbreitet sind oligoklasreiche Sediment-

⁴⁾ Van Hise, Treatise on Metamorphisme. U. S. Geol. Survey, Prof. pap. 1904, S. 187 u. 748.

⁵⁾ E. Weinschenk, Ueber die Plastizität der Gesteine. Zentralblatt f. Min. etc. 1902, S. 161.

^{*)} Ueber moldanubisches und moravisches Grundgebirge S. F. E. Suess. Bau und Bild der böhm. Masse 1903, S. 29 und 63, und Verhandlungen d. Geol. Reichsanstalt 1908, S. 395.

gneise, meist reich an braunem Glimmer, mit Granat oder Fibrolith, manchmal auch Turmalin führend; bald feinkörnig, ähnlich einem Glimmerhornfels, häufig aber mittelkörnig, auch schuppig und mit Uebergängen zu Gneisglimmerschiefer. Dazu gesellen sich quarzreiche Gesteine: Feldspatquarzite und Glimmerquarzite, zahlreiche Bänke von lichtem, plattigen Quarzit oder schwarzem Graphitquarzit; vor allem aber sehr viele Züge von kristallinischem Kalk,⁶⁾ meist weiß, seltener grau, gebändert, manchmal bituminös und in der Regel begleitet von Lagen und Nestern von Graphit.⁷⁾ Die Begleitminerale dieser Marmore (Tremolit, Augit, Skapolith, Wollastonit, Serpentin u. a.) und ihre Uebergänge in Kalksilikatgesteine sind durch Beckes Beschreibung der südlicheren Teile des moldanubischen Grundgebirges im niederösterreichischen Waldviertel bekannt geworden.⁸⁾

⁶⁾ Darunter auch Dolomite, S. Lipold. Jahrb. d. Geol. Reichsanstalt 1852, H. 3, S. 41.

⁷⁾ Wer die Graphitlager des mährisch-niederösterreichischen Grundgebirges kennt, ihr flötzweises Auftreten in inniger Verbindung mit den Kalklagern und die Graphitanreicherungen in manchen Quarzitbänken, kann kaum an ihrem sedimentären Ursprung zweifeln. Kretschmer hat diese Anschauung eingehend begründet. (Oest. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1902, S. 458 u. 473.) Hiezu möchte ich noch folgendes, in bezug auf die Vorstellung, welche ich mir von den Vorkommnissen gebildet habe, bemerken: Die Kalke sind häufig bituminös, oft auch wahre Stinkkalke (z. B. Unter-Thumeriz); durch die örtliche Anreicherung und teilweise Reduktion der Bitumina während der Metamorphose sind nach meiner Ansicht diese Graphite entstanden. Ehemalige Kohlenflötze sind im tiefen Grundgebirge und insbesondere als ständige Begleiter der Kalke von vorneherein unwahrscheinlich, und sie würden bei der Faltung in höherem Grade den Zusammenhang bewahrt haben, als dies bei den örtlich abgequetschten Graphitlinsen der Fall ist. Vermutlich wurden die Bitumina bei der Faltung vermöge ihrer leichten Beweglichkeit örtlich angereichert; vielleicht auch durch Lösungs- und Kristallisationsvorgänge vom Kalke reiner gesondert, während die kieselige Verunreinigung erhalten blieb. So mögen die zahlreichen, oft mächtigen, aber rasch auskeilenden Graphitlinsen entstanden sein. H. Barviř hält die südböhmischen Graphite für umkristallisierte Kohle, betont aber auch die Nachbarschaft stark bituminöser Kalke und die gleichzeitige Kristallisation des Graphites mit den umgebenden Gneisen und Kalken. (Sitzungsberichte der kónigl. böhm. Gesellschaft der Wissenschaften, Prag 1905, XXII).

⁸⁾ F. B é c k e, Die Gneisformation des niederösterreichischen Waldviertels. Tschermaks Min. Mittlg. 1882. N. F., Bd. IV, S. 368 ff.

Gegen Osten, mit der Annäherung an das moravische Grundgebirge, werden die Sedimentgneise und auch die orthoklasreichen Einlagerungen grobschuppiger und nehmen Muskovit auf. Es vollzieht sich ein Uebergang zum Zweiglimmergneis und Glimmerschiefer; aber die Begleitgesteine, Marmor mit Graphit, Quarzite und Amphibolite sind in ähnlicher Verbreitung und Mächtigkeit auch hier vorhanden. Eine Formationsgruppe von bestimmter Zusammensetzung und von großer Ausdehnung, reichend von der Donau bis weit über die mährische Grenze bei Iglau, wurde in enge Falten gelegt und zu kristallinen Schiefen umgewandelt, u. zw. im Westen jenseits Krems, Allentsteig und Drosendorf mit den Charakteren der tieferen, in einer östlichen unregelmäßigen Zone mit den Charakteren der mittleren Umwandlungsstufe (Grubenmann). Daß die vielen Marmorzüge zum großen Teile nur Wiederholungen der gleichen Lager sind, erkennt man an den häufigen Faltungen dieser Gesteine, insbesondere an den Aufschlüssen des felsigen Thayaufers bei Eibenstein, in der Umgebung von Drosendorf und bei Thumeritz in Niederösterreich.

An zahlreichen Stellen bilden diese Züge die prächtigsten Belege für die bekannte Erscheinung der höheren Plastizität des kristallinen Kalkes gegenüber den silikatischen Einlagerungen. Sehr dunkle, schwarzgrüne Amphibolite, welche als charakteristische Begleiter des Kalkes in der ganzen Zone auftreten, sind, ebenso wie lichte pegmatische Gänge, in der mannigfachsten Weise verbogen, verdickt oder abgequetscht, sehr häufig aber zerrissen und in lose Trümmer zerlegt. Die einzelnen Stücke sind manchmal länglich auseinandergezogen mit spitzen Schweifen, häufig eckig quergebrosen und in beiden Fällen von der Bänderung des Kalksteins ähnlich einer Fluidalstruktur umflossen. Th. Fuchs beschrieb die Erscheinung bereits im Jahre 1881 an den kristallinen Kalken bei Spitz an der Donau.⁹⁾

Marmorstücke mit eckigen Einschlüssen von Amphibolit befinden sich in der Sammlung der k. k. Geologischen Reichsanstalt von verschiedenen, weit auseinander gelegenen Lokalitäten.

⁹⁾ Th. Fuchs, Einschlüsse von fremden Gesteinen im kristallinen Kalkstein. Verh. d. Geol. Reichsanstalt 1881, S. 257.

täten dieser westlichen Zone von Sedimentgneisen mit Marmor und Graphit, u. zw. von Kollapriel, südlich von Melk, von Unter-Ranna nächst Mühldorf bei Spitz, von Loiwein, südwestlich von Gföhl, und von Wolfenstein bei Allentsteig. Nach freundlicher Mitteilung des Herrn Dr. Ohnesorge ist die gleiche Erscheinung in trefflicher Weise entwickelt in den Kalkbrüchen von Rastenfeld bei Groß-Motten.

Noch weiter im Norden konnte ich sie recht häufig beobachten, u. zw. insbesondere innerhalb eines etwa 15 km langen Stückes der Zone von Sedimentgneisen und Kalken zwischen Ober-Thumritz bei Japons im Süden und Kurlupp bei Ungarschitz (Mähren) im Norden.

Aus dieser ausgedehnten Zone von ähnlichen Vorkommnissen sollen zwei Beispiele herausgegriffen und an ihnen das Wesen der Erscheinung im einzelnen erläutert werden, u. zw. zunächst die zertrümmerten Amphibolite in dem Marmor bei Ungarschitz in Mähren und dann die in gleicher Weise mechanisch umgeformten Amphibolite und Aplite von Spitz an der Donau.

I. Amphibolite im Kalkstein von Ungarschitz in Mähren.

Die graphitführenden Marmore der oben erwähnten Gegenden an der Thaya sind allenthalben begleitet von dunklen Amphiboliten in sehr wechselnder Mächtigkeit und Ausdehnung. 50 oder 100 m breite Lager und unregelmäßige Körper von Amphibolit und Granat-Amphibolit sind den Sedimentgneisen und Glimmerschiefern bei Ungarschitz und Freistein eingelagert. An anderen Stellen sind handbreite Bänke und noch dünnere Streifen nahe zusammengedrängt und die zarte, oft sehr regelmäßige Bänderung und Streifung der Kalke wird bald durch feinverteilten Graphit, bald durch kleine, reihenförmig eingestreute Hornblende- oder Augitkriställchen hervorgerufen, welche vermutlich aus lose eingestreutem, tuffartigem Materiale hervorgegangen sind, so wie die zusammenhängenden Amphibolitbänke, als metamorphe, basische Ergüsse oder Lagergänge (Metabasite, Sederholm) aufzufassen sind.

Die Amphibolite der Kalke sind dunkelgrün, fast schwarz, meist recht feinkörnig mit ziemlich ausgeprägter Pa-

ralleltekturen; Plagioklas ist mikroskopisch kaum sichtbar und nur selten sieht man bis erbsengroße, unregelmäßige Flecken von rotbraunem Granat. In einzelnen Lagen finden sich spärliche Biotitschuppen oder auch Uebergänge zu schmalen Bänken von Biotitamphibolit.

Der verbreitetste Gesteinstypus besteht zu drei Viertel oder noch größerem Teile aus Hornblende, nur ausnahmsweise erreicht der Plagioklas etwa die Hälfte der Gesteinsmenge. In der ziemlich gleichkörnigen Masse zeigt die Hornblende Tendenz zu vollkommener Entwicklung der Prismenflächen. Sie erscheint im Dünnschliffe recht hellfarbig: a) hellgelblichgrün, fast farblos; b) blaßgrün, etwas gelblich, oder bräunlichgelb; c) grün oder blaßgrün, manchmal mit einem Stich ins Bräunlichgelbe. ($a \leq b \leq c$ oder $a < b = c$) Die Auslöschung auf (010) betrug nach dem Durchschnitte zahlreicher Messungen 16 bis 17°. Die bräunlichen, manchmal etwas schmutzigen Farbtöne treten meist nur auf in Form unbestimmter und unruhig verwaschener Flecken, wie von einer äußerst zarten submikroskopischen Bestäubung oder Zersetzung herrührend. Von dem Auftreten einer helleren, rein grünen, sekundären Hornblende soll weiter unten, bei Besprechung der Vorkommnisse von Spitz, die Rede sein.

Die Plagioklase sind wasserklar. Nur in einzelnen Schliffen, in denen sie mit besonders lichter Hornblende vergesellschaftet sind (Kalkbrüche südlich von Ungarschitz), tritt eine breite Zwillingsstreifung ziemlich allgemein auf. Sonst sind die unregelmäßigen Körnchen fast ausnahmslos unverzwillingt; aber mit recht unruhiger Auslösung, hervorgerufen durch ungleichmäßigen, inversen Zonenbau und sehr auffallenden basischen Reaktionssäumen an den Grenzen gegen die umgebenden Hornblendebänke. Diese basischen Säume sind bald breit und verschwommen, bald sehr schmal und scharf begrenzt.

Infolge der Seltenheit von Zwillingsstreifen und Spaltfugen wird die Bestimmung dieser Plagioklase schwierig. Geringe symmetrische Auslöschungsschiefe in den wenigen gestreiften Schnitten, die Lichtbrechung höher als Kanadabalsam, großer Achsenwinkel mit schwankend positivem und negativem optischen Charakter deuten auf basischen Oligoklasen und Andesin. Uebrigens kann nach dem ganzen Habitus auf

eine ziemlich schwankende Zusammensetzung dieser Plagioklasse geschlossen werden.

Granat fand sich nur in wenigen Schliffen in Form kleiner, eckig unregelmäßiger Skelettformen und Körnergruppen.

Biotit, hochpleochroitisch, fast farblos bis tiefbraun, fast einachsigt, wurde in einzelnen Schliffen in Form einzelner Schuppen in paralleler Verwachsung mit Hornblende angetroffen.

Kleine, unregelmäßige und undulös auslöschende Quarzkörnchen konnten nur in gänzlich zersetzten Partien des Amphibolits nachgewiesen werden.

Sehr zahlreich und im Gestein ganz allgemein verbreitet sind die kleinen, meist keilförmig zugespitzten Körnchen von Titanit; fast ebenso häufig ist Apatit, sowohl in Form etwas größerer, manchmal undeutlich sechseckig umgrenzter Körner, als auch — an anderen Stellen — in Form sehr zahlreicher nadelförmiger und kurz-säulenförmiger Einschlüsse im Plagioklas. Ganz vereinzelt sind kleine Säulchen von Rutil.

Von Erzen ist Pyrit am häufigsten und kann erbsengroße und auch größere Nester bilden; aber auch dunkle, bläulichgraue Erze, Magnetit und vermutlich auch Ilmenit sind nicht selten.

Ein Pyroxenmineral als primärer Bestandteil wurde nicht vorgefunden.

Innerhalb des erwähnten Gebietes zwischen Thumritz und Ungarschitz kann man an nicht wenigen Stellen das plastische Verhalten des Kalksteins gegenüber den eingeschlossenen Amphibolitbänken studieren. In kleineren Aufschlüssen wird man bei einiger Aufmerksamkeit nicht selten kopf- oder faustgroße, eckige oder unregelmäßige, rundlich abgequetschte Trümmer von Amphibolit im Kalkstein wahrnehmen können. Wo größere Flächen durch Steinbrüche bloßgelegt sind, wie z. B. in den graphitführenden Kalken bei Unterthürnau, nördlich von Drosendorf, sieht man, daß die dunklen Einschlüsse, welche sich mit größter Schärfe von dem weißen Marmor abheben, in geraden Reihen angeordnet, auf größere Strecken fortlaufen. Es sind losgelöste und auseinandergezerrte Trümmer einzelner, zerstückelter Amphibolitbänke. Nicht selten

ist die Zertrümmerung an parallelen Brüchen vor sich gegangen und die einzelnen rechteckigen oder quadratischen Bruchstücke wurden in gleichem Sinne gedreht und auseinandergeschoben, so daß stellenweise Bilder von sonderbarer Regelmäßigkeit entstehen, die an künstliche Muster erinnern. Die zarte Streifung umfließt konzentrisch von beiden Seiten her die einzelnen Trümmer.

Hinter dem Schloßparke Ungarschitz sind steil gegen Nordwesten einfallende Kalke in einer Breite von etwa 150 m aufgeschlossen; sie enthalten Amphiboliteinschlüsse in verschiedenartiger Gestaltung. Bald sind zusammenhängende Bänder von einem Netz geradliniger, in Gruppen paralleler Sprünge durchsetzt, die durch Kalkspat ausgefüllt sind und sich als breitere oder dünnere weiße Streifen scharf abheben. Bald sind sie, wie bei Unter-Thürnau, in Trümmerreihen zerlegt und auseinandergeschoben. An einer anderen Stelle wieder bilden sie unregelmäßige Knollen, welche von einem Saume von Brauneisenstein umrandet sind. Stellenweise sind auch isolierte, bis 2 cm große Hornblendesäulchen im Kalke lagenweise eingestreut. Diese Streifen sind bald flachwellig gebogen oder bald wieder ganz geradlinig, stellenweise aber auch in sehr enge spitzwinklige Falten gelegt; sie umfließen stets konzentrisch die Einschlüsse.

Ein Aplitgang von $\frac{1}{2}$ m Breite durchsetzt spitzwinklig die Parallelstruktur des Kalkes und wird von einer jüngeren Verwerfung abgeschnitten.

Das auf Tafel V. (I.) in natürlicher Größe abgebildete Gesteinsstück fand ich in einem Straßengraben östlich von Ungarschitz. Es stammt ohne Zweifel aus dem erwähnten Steinbruche und stellt einen Abschnitt einer längeren Reihe von Amphibolittrümmern im Kalkstein dar, welche zur Zeit meines Besuches (1908) im Steinbruche aufgeschlossen war.

Man sieht drei dunkle Schollen von Amphibolit eingebettet in weißem, gebänderten Marmor; die ersten beiden, von links nach rechts gezählt, haben annähernd rechteckigen, die dritte fast quadratischen Umriß. Eine Amphibolitbank wurde hier an gradlinigen Sprüngen quer zertrümmert, die Bruchstücke auseinandergeschoben und von beiden Seiten her drängte der Kalkstein in den Zwischenraum.

Ein 4 cm weiter einwärts gelegener, paralleler Schnitt durch denselben Block ergab schon ein ziemlich verändertes Bild (hier nicht abgebildet); die dritte quadratische Scholle ist zwar mit gleichem Umriß noch vorhanden, von der zweiten aber ist die untere Hälfte durch eine breite annähernd diagonal verlaufende Zertrümmerungszone abgelöst und die erste ist vollends in drei ziemlich unregelmäßige Bruchstücke zerlegt und auseinandergeschoben. Rechts von der dritten Scholle wird die geradlinig umrandete Ecke einer vierten sichtbar, deren Vorhandensein man bereits in der dargestellten Fläche aus dem Verlaufe der Bänderung im Kalkstein vermuten kann. Die Zerrung hat nicht nur in einem Sinne gewirkt und die Gesteinsbank wurde in der ganzen Fläche nach verschiedenen Richtungen gleichzeitig auseinandergezogen.

Die mächtigere zertrümmerte Hauptbank ist unten von einer schwächeren Amphibolitlage begleitet; diese wurde in noch höherem Maße zerstückelt und auseinandergezogen und in ein Band unregelmäßiger Trümmer zerlegt; nur stellenweise, wie an den beiden kleinen Stückchen links unter der dritten Scholle, blieb noch der geradlinige Querbruch erkennbar.

Im Marmor sieht man zahlreiche dunkle Pünktchen. Es sind dies zum Teil Pyritkörnchen, zum Teil Graphitschüppchen und zum Teil Diopside und, namentlich im unteren Teile des Bildes, losgelöste (meist zersetzte) Hornblenden. Skapolithkörnchen werden unter dem Mikroskope nachgewiesen. Die Streifung des Kalkes wird durch fein verteilten Graphit hervorgerufen. Die graphischen Bänder sind über den hervorragenden Kanten der Amphibolitschollen verschmälert und fließen breit auseinander in den Zwischenraum. Man beachte aber insbesondere den Graphitstreifen, welcher in einem Abstände von etwa 8—10 mm über den oberen Rand der zweiten und dritten Scholle kräftiger hervortritt. Er verschmälert sich in beiden Fällen zugleich mit der Annäherung an die oberen Ecken; die zwischenliegende Kalkpartie keilt rasch aus, und der Graphit legt sich als schmaler, scharf gezeichneter Streifen unmittelbar an die Bruchfläche. Ueber der dritten Scholle verschwindet dieser Streifen allmählich und die Erscheinung wird undeutlich. (Dagegen sieht man das gleiche an der Ecke der vierten Scholle, welche in dem oben erwähnten, hier

nicht abgebildeten Parallelschnitte sichtbar wird.) Die einzelnen Schollen blieben wahrscheinlich nach erfolgtem Bruch zunächst enge aneinander angeschlossen und sind staffelförmig an den Bruchflächen abgeglitten; erst nachdem die obere Ecke der linken die untere Ecke der rechten Scholle erreicht hatte, erfolgte die Drehung und das Auseinanderrücken.

Solange die Schollen an der Bruchfläche aneinandergepreßt waren, bot sich hier wenig Gelegenheit zur Zirkulation der Lösungen; durch die energischere Kristallisation in der breiten Kalkzone wurden die Massen in den einspringenden Winkel gedrängt, das Graphitband an die Bruchfläche angepreßt und entlanggeschleift. Es hat an keiner Stelle den Zusammenhang eingebüßt.

In ähnlicher Weise sind auch auf der Unterseite die Trümmer der schmäleren Amphibolitbank an die Bruchflächen näher herangeschoben, als an die Schichtflächen der einzelnen Schollen der Hauptbank.

Eine Reihe losgelöster Trümmer verbindet die Ecken der zweiten und dritten Scholle. Eine ebensolche läuft von der dritten zur vierten, und eine breite Trümmerzone liegt zwischen der ersten und zweiten. Diese letztere Trümmerzone ist anscheinend durch Zertrümmerung eines Zwischenstückes zwischen der ersten und zweiten Scholle entstanden. Man sieht auch, daß die Ecken der ersten Scholle bereits abgesprengt und losgelöst sind; grobkristallinischer Calcit erfüllt die jüngst entstandenen Klüfte. Auch die Ecken links unter der zweiten und dritten Scholle sind im Begriffe sich loszulösen.

Die beiden ersten Schollen sind ziemlich frischer, fast schwarzer Amphibolit, einzelne unbestimmte lichtere Flecken in der Mitte der ersten und im oberen Drittel der zweiten Scholle sind rotbraune Granaten. Die dritte Scholle, sowie der größte Teil der kleineren Trümmer und der zwischenliegenden Masse und gewisse Randpartien der ersten Scholle erscheinen infolge weitgehender Zersetzung im Bilde etwas heller. Die Farbe ist schmutzig weißlichgrün, mit kleineren dunklen Flecken und feinwelliger, dunkler, serpentinähnlicher Streifung, die besonders an der rechten Ecke der dritten Scholle im Bilde ersichtlich wird.

Die Hornblende zerfällt bei der Zersetzung in ein farbloses, schwach doppelbrechendes Aggregat vom optischen Charakter des Serpentin oder Pennin (pos. nach der Hauptzone). Die Farblosigkeit und die relativ hohe Doppelbrechung scheinen mir eher für ersteres Mineral zu sprechen. Außerdem findet sich stellenweise noch blaßgrüner, fast isotroper Chlorit vereinzelt in Büscheln. Plagioklas trübt sich unter Zerfall in stärker doppelbrechende Schüppchen. Das Endresultat ist häufig eine trübe, schuppige, kryptokristallinische Masse, mit wolkig ungleicher Doppelbrechung, in welcher die Titanite in ihren Umrissen gut kenntlich geblieben, aber in die bekannte, weißlichgelbe, erdige Substanz umgewandelt sind; vereinzelt sieht man Quarzkörnchen, und das Ganze ist von Calcitadern durchzogen und mit Calcitschüppchen durchsetzt.

Helle, von Calcit erfüllte Sprünge zeichnen sich scharf ab vom dunklen Amphibolit. Es scheint, daß man hier nach dem Alter verschiedene Generationen unterscheiden kann; zunächst mehr geradlinig verlaufende Adern, welche den Bruchflächen der Schollen beiläufig parallel sind. Ferner verschiedene Quersprünge und unscharfes, jüngeres Geäder, welches sich mit unregelmäßig welligem Verlaufe quer über die beiden ersten Schollen erstreckt. Die weißen Calcitfleckchen im unteren Teile der zweiten Scholle sind ebenfalls jüngere Eindringlinge.

In der stark zersetzten dritten Scholle sind die älteren Sprungausfüllungen undeutlich geworden, man sieht nur einzelne jüngere Calcittrümmerchen. Eine Auflockerungszone, parallel der Schichtfläche, zerteilt das Stück beiläufig in der Mitte; hier ist nicht nur Calcit, sondern auch der sonst im Gestein fein verteilte Pyrit in kleinen Aederchen angereichert.

Unter dem Mikroskope sieht man ganze Zonen von Klüften parallel den Querbrüchen den Amphibolit durchsetzen. Bald sind sie nur angedeutet durch Scharen von querverlaufenden Sprüngen, welche die einzelnen Hornblendekörner durchsetzen, in den dazwischenliegenden Plagioklasen aber oft nicht bemerkt werden, bald öffnen sie sich zu sehr schmalen Streifen, in welche manchmal Calcit eingedrungen ist. In anderen Fällen aber wird an diesen engen Klüften eine für die Beurteilung

des kristalloblastischen Wachstums erwähnenswerte Erscheinung beobachtet, von welcher unten noch die Rede sein soll, nämlich der Ansatz von neugebildeter Hornblende, welche, von beiden Seiten eindringend, diese Sprünge wieder zuheilt.

Die bedeutsamste Erscheinung aber, welche man an dem Blocke wahrnehmen kann, ist der Kontaktsaum, welcher die Amphibolitschollen ebenso wie an den ursprünglichen Schichtgrenzen, auch an allen jüngeren Bruchgrenzen umrandet. Er besteht aus einem schmalen inneren weißlichen Streifen und einem äußeren dunkleren Bande, von anderem helleren Grün, wie der frische Amphibolit. Im Bilde Taf. V (I) erscheint er stellenweise dunkler und stellenweise heller als der benachbarte Amphibolit. Er tritt besonders deutlich hervor an den beiden Schichtkontakten der dritten Scholle und erscheint in der Abbildung dunkler, als der zersetzte Amphibolit. An den Bruchkontakten dieser Scholle ist er schmaler und stellenweise zerrissen, aber dennoch sicher nachweisbar; an dem oben erwähnten Parallelschnitte durch den Block ist der Kontaktsaum an diesen Flächen in viel deutlicherem Zusammenhange zu erkennen. Auch an den Rändern der kleineren losgelösten Stücke unter der dritten Scholle, welche zum Teil recht hell kaolinisch zersetzt sind, wird er sichtbar. Unter dem Mikroskope erkennt man, daß der lichte innere Streifen durch getrübte, zersetzte Feldspate und Hornblenden gebildet ist; der grüne Rand besteht hauptsächlich aus schuppigen, stark doppelbrechenden Aggregaten, — wie man erkennen kann, Pseudomorphosen, nach zweierlei Mineralien, einem solchen mit schwächerer und einem solchen mit stärkerer Licht- und Doppelbrechung, deren unzersetzte Reste hie und da sichtbar werden. Ersteres nimmt größere Flächen ein, das zweite, höher doppelbrechende, ist meist am Außenrande des Saumes mit Gestalten von beiläufig kurzsäulenförmigem Umrisse angelehnt. Bei der Auflösung in Salzsäure bleibt der Kontaktsaum als dünner weißer Belag sowohl auf der Schichtfläche, wie auf der Bruchfläche in gleicher Weise erhalten; man erkennt auch hier noch unter der Lupe die säulenförmigen Umrisse des randlich gehäuften Mineralies.

Allen wünschenswerten Aufschluß über die Natur dieses Kontaktsaumes erhält man an frischen Einschlüssen, welche hauptsächlich von den Steinbrüchen südlich von Ungarschitz stammen und in denen der rings umgebende Kontaktsaum an fast allen Berührungsflächen mit lichtgrüner Augitfarbe für das freie Auge leicht kenntlich ist. In einigen Dünnschliffen zeigte sich, daß der Kontaktsaum mit geringen Abänderungen an allen Rändern ziemlich gleichmäßig ausgebildet ist. Das herrschende Mineral an der Grenze zwischen Kalk und Amphibolit ist Plagioklas mit enger Zwillingsstreifung. Die hohe Lichtbrechung und der optisch negative Charakter weisen ihn in die Bytownit-Anorthitreihe. In Schnitten senkrecht auf P und M betragen die symmetrischen Auslöschungen 37° und mehr. Basische Randzonen in der Grenze gegen Diopsid oder Hornblende ergaben in gleichen Schnitten bis 45° ; sie dürften bereits dem Anorthit sehr nahe stehen. Der zonare Bau ist aber nur an manchen Rändern entwickelt und im allgemeinen löschen diese Plagioklase des Kontaktsaumes ganz einheitlich aus.

Zu dem Plagioklas gesellt sich farbloser, diopsidischer Augit, seltener in kurzen Säulenformen mit fast quadratischem Querschnitt, häufiger in unregelmäßig ausgebuchteten Gestalten; sie sind im Plagioklas ziemlich gleichmäßig verteilt: bald scheinen sie lockere Reihen von Körnern gegen die Kalkgrenze zu bilden, bald sind sie innen unmittelbar an den Amphibolit angesetzt. Fast allenthalben sieht man die beginnende oder schon weit vorgeschrittene Umwandlung des Augites in feinfilzige, fast farblose, stark doppelbrechende Hornblende. In anderen Handstücken verwandelt sich der Augit in stark doppelbrechende, farblose Schüppchen, die als Talk zu deuten sein dürften. An der Grenze zwischen dem Amphibolit und dem Randplagioklas ist zuweilen eine Zone von sekundärer, farbloser, oder fast farbloser Hornblende eingeschaltet. Teils sind es sehr blaßgrüne, scharf begrenzte Stengel — unverkennbar Fortwachsungen der etwas mehr braunen Hornblende des Amphibolites — teils farblose Körner, mit einzelnen grünen pleochroitischen Höfchen um eingeschlossene kleine Titanite und stellenweise erkennbarer Hornblendespaltbarkeit; diese letztere Hornblende ist wenigstens teilweise

sicherlich aus Augit hervorgegangen. In beiden Fällen ist die Doppelbrechung höher als die der älteren Hornblende.

Skapolith findet sich neben Augit und Quarz in den unmittelbar benachbarten Kalkpartien, wurde aber in der Kontaktzone selbst nicht gefunden.

Die Plagioklase des Kontaktsaumes bilden große zusammenhängende Individuen, welche Augit und Hornblende auf weite Strecken poikiloblastisch unwachsen und mit ihren entlegenen Enden mit gleichsinniger Auslöschung und Zwillingsstreifungen noch tief in den Amphibolit hineinragen (siehe Tafel VII (III), Fig. 1 u. 2). Da in der Nähe dieses Randes die Zwillingsstreifung in den Plagioklasen des Amphibolites ebenfalls häufiger wird, scheint es, daß unter dem Einfluß der Kalklösungen eine teilweise Neubildung der Plagioklase noch in einer Entfernung von mehreren Millimetern von der Gesteinsgrenze stattgefunden hat. Manchmal greift der Plagioklas zinnenartig mit geradlinigen Kristallgrenzen ein in den Calcit. Stellenweise sind an der Grenze beider Minerale schmale Streifen von Erz- oder Graphitschüppchen angereichert. In der Kontaktzone selbst findet sich niemals Graphit. Die kleinen keilförmigen Titanite liegen im Randplagioklase in ähnlicher Verteilung und Größe, wie im benachbarten Amphibolit; man ersieht hieraus, daß das neugebildete Gemenge von Plagioklas und Augit auf Kosten des Amphibolites Raum gewonnen hat. (Tafel VII (III), Fig. 3.) Andere größere Titanite jenseits der Kontaktzone gehören bereits zu den Mineralen des silikatführenden Kalkes.

Häufig sieht man die beginnende Zersetzung der Randplagioklase in farblose, stark doppelbrechende Schüppchen mit dem optischen Charakter des Glimmers; in dem abgebildeten Blocke ist diese Umwandlung noch viel weiter vorgeschritten. Man kann aus der parallelen Lage der Schüppchen noch recht gut die Ausdehnung der ehemaligen poikiloblastischen Plagioklase erkennen, denen die meist unregelmäßig umgrenzten, mehr feinschuppigen, weniger durchsichtigen, aber stärker doppelbrechenden Pseudomorphosen nach Augit eingelagert sind; auch die geradlinigen Grenzen des Feldspates gegen den Calcit bleiben erhalten; ebenso erkennt man noch die Umrisse der kleinen Titanite, resp. ihr erdiges, gelblichweißes Umwandlungsprodukt.

Der abgebildete Gesteinsblock lehrt demnach, ebenso wie viele andere frischere Amphiboliteinschlüsse im Kalkstein, durch die beobachteten Kontaktzonen an den Bruchflächen, daß hier ein chemischer Austausch im festen Gestein stattgefunden hat; es kann dies nur auf dem Wege der Lösung vor sich gegangen sein. Unter dem Einflusse calcitreicher Lösungen ist der Amphibolit in kalkreichen Plagioklas und Pyroxen umgewandelt worden. Die Minerale haben gegen Innen vordringend die Hornblende und den kalkarmen Plagioklas aufgezehrt, die Titanite sind jedoch erhalten geblieben. Im Gegensatz zu sonstigen Beobachtungen verhält sich hier der Plagioklas idioblastisch zu dem benachbarten Calcit und ragt, wie erwähnt, stellenweise mit eckigen Umrissen in die Calcitkörner hinein. Dies ist wohl durch die besonderen örtlichen Umstände bedingt; der leicht lösliche Kalkspat konnte während der Bewegungsvorgänge sein Kristallgefüge viel rascher erneuern, als der Plagioklas, der wegen der geringeren Löslichkeit den einmal eroberten Raum viel zäher festhalten mußte. Die Calcitkörner sind in den am meisten gestörten Strecken, an Klüften und einspringenden Winkeln zwischen Amphibolit besonders groß. Mechanisch beeinflusste Körner, mit gekrümmten Spaltrissen werden nur verhältnismäßig selten angetroffen.

II. Aplite und Amphibolite im Kalksteine von Spitz an der Donau.

Oberhalb Spitz an der Donau wurden in neuester Zeit durch einen Bahnbau große Aufschlüsse bewerkstelligt. Die Gesteinsbänke fallen hier im allgemeinen in der Richtung zur Donau, so daß die neue Bahnlinie längs der Donau auf eine längere Strecke dem Streichen eines mächtigen Kalklagers folgt. Dasselbe enthält zahlreiche Bänke und Linsen von dunklem, massigem Amphibolit und von dünnblättrigem, Feldspat führendem Biotitschiefer, ähnlich den schiefrigen Abarten des Plagioklasgneises, in welchen die Kalke auftreten. Auch die Amphibolite nehmen häufig Biotit auf und können in schiefrige Varitäten übergehen. Dazu kommen noch viele lagerhafte Gänge von weißem, mittelkörnigem bis feinkörnigem Aplit, meist etwas Biotit führend.

Alle diese Einlagerungen sind älter als die Faltung und haben durch dieselbe mannigfache Deformationen erlitten. Die

härtesten, dichten Amphibolite sind oft quer zertrümmert und rechteckige Bruchstücke sind lose im grobkristallinen Kalke eingestreut. Mächtige, etwas schiefrige Lager sind oft linsenförmig abgequetscht. Dünne schiefrige Bänke sind an parallelen Klüften, an welche der Kalkschiefer eindringt, förmlich aufgeblättert, an anderen Stellen wieder in unregelmäßige Fetzen zerteilt, so daß verschieden gestaltete Flecken auf den Schichtflächen des Kalkes entstehen.

In der Regel aber sieht man auf den gewölbten Schichtflächen der schmälere schiefrigen Lagen ein regelmäßiges enges Netz von dünnen, parallelen Sprüngen, die durch eine gleichmäßige Zerrung des Gesteines hervorgerufen zu sein scheint und sich nicht in die massig grobkristallinen Kalke fortsetzt. Diese Sprünge sind zum Teil angefüllt mit Feldspatsubstanz, zum Teil treten sie dadurch deutlich hervor, daß sie von sehr schmalen Streifen stärkerer Verwitterung begleitet sind, an denen der braune Glimmer matt gelblichgrün gefärbt ist.

Nicht minder auffällig ist die eckige Zertrümmerung der Aplitgänge, die durch die Figuren 1 u. 2 (Taf. VI (II)) illustriert sind. Figur 2 zeigt einen solchen Gang in einem Blocke, der zum Unterbau der Bahn verwendet wurde; der Gang ist anscheinend durch Zusammenschub oder Torsion an parallelen Sprüngen zerbrochen, die einzelnen Bruchstücke von fast quadratischem Querschnitte sind in parallelen Richtungen aneinander abgeglitten. Der Gang auf Fig. 1 wurde in gleicher Weise zerlegt und die einzelnen Bruchstücke weit auseinandergeschoben, so daß sie gleichsam einzeln im Kalkstein schwimmen. Gewiß würde man ein solches Bild in einem Feldspatgestein für den sicheren Beweis seiner eruptiven Natur ansehen.

Die Kalke von Spitz sind viel reicher an Silikatmineralen, als jene von Ungarschitz; sie sind deshalb nicht mehr rein weiß, sondern fleckig grünlich. Sie sind insbesondere reich an diopsidischem Augit und Skapolith, beide in Form unregelmäßiger oder gerundeter Körner. Die Skapolithe enthalten fast stets unregelmäßige und scharf begrenzte dunkle Flecken, erfüllt von zahllosen, winzigen Einschlüssen, welche in ähn-

licher Weise bereits wiederholt an diesem Minerale beschrieben wurden.¹⁾ Sie sind in einem Korne wolkig ungleich dicht gehäuft und stellenweise bis zur Undurchsichtigkeit zusammengedrängt. In manchen Körnern sind sie besonders klein und dann sind es äußerst zarte Nadelchen, parallel der Hauptachse dem Kristalle eingelagert; in dem Schnitte senkrecht zur Hauptachse erscheinen sie als kleine staubartige Pünktchen, dann lassen die größten unter ihnen im Querschnitte kurze Leistenform oder undeutlich eckigen Umriß erkennen. Wo sie aber überhaupt größer werden, nehmen sie kurze Säulenform an, mit pyramidalen Endigungen und sechsseitigem Umriß; sie werden dann mit bräunlichem Schimmer durchscheinend (Hämatit?).

Außerdem enthält dieser Kalk auch häufig rundliche, oft recht große Plagioklase mit Zwillingsstreifung (zumeist Oligoklas-Andesin), auch etwas Quarz und Orthoklas, ferner relativ große, dichroitische Titanite und Pyritnester.

Einige untersuchte Schlitze von Amphiboliteinschlüssen aus diesen Kalken stimmen aufs engste überein mit biotitfreien Amphiboliten von Ungarschitz. Die Hornblende zeigt die gleichen Eigenschaften; der spärliche Plagioklas ist optisch positiv und ergab symmetrische Auslöschungen in Schnitten, annähernd \perp MP von 12 bis 13°; er ist demnach zum Andesin zu rechnen.

An den meisten Bruchstücken von Amphibolit, welche sich mit meist rechteckigem Querschnitt von dem umgebenden Kalkstein scharf abheben, besteht ein stärkerer Gegensatz zwischen dem Kontakt an der Schichtfläche und jenem an der Bruchfläche, als bei den Vorkommnissen von Ungarschitz. An dem ursprünglichen Kontakte hat ein energischerer Austausch der Stoffe stattgefunden und es ist ein etwa 2 bis 10 mm breiter Randstreifen entstanden, bestehend aus körnigem Gemenge von farblosem Augit und Skapolith, mit gegenseitiger poikilitischer Umwachsung oder Pflasterstruktur. Selten wurde Quarz als Eckenfüllung beobachtet. Den Skapolithen des

¹⁾ Vgl. A. Lacroix. Contributions à l'étude des gneiss à pyroxène et des roches à wernérite. Bull. Soc. française de Mineralogie. Paris 1889, T. XII., pag. 99.

Kontaktes fehlen die oben beschriebenen mikrolithischen Einschlüsse.

Am Bruchkontakte wurde nur in einigen Fällen die Neubildung von kalkreichem Plagioklas (Bytownit-Anorthit) mit Augit in poikiloblastischen Fortwachsungen gegen den Amphibolit und mit gleicher Umwandlung in stark doppelbrechende Schüppchen, wie bei Ungarschitz, beobachtet. In diesen Kontakten fehlt der Skapolith, ebenso wie bei Ungarschitz.

In der Mehrzahl der beobachteten Fälle, und gerade an den scharfrandigen Bruchkontakten hat ein so weitgehender Austausch der Stoffe nicht stattgefunden. An der Grenze gegen den Kalk beobachtet man nur Fortwachsung der bräunlich, getrübbten Hornblende in Form einer hellgrünen, viel lichterem Abart, welche mit spießigen und palisadenartig zerteilten, manchmal etwas filzig verbogenen Enden in den Kalkspat hineintragt. An diesen schmalen Fortwachsungsleisten sind zumeist neben den Prismenflächen auch die Endflächen entwickelt. Nicht nur durch die Farbe, sondern auch durch etwas höhere Doppelbrechung und, wie sich an einzelnen Stellen beobachten läßt, auch durch geringere Auslöschungsschiefe unterscheidet sich diese neugebildete Hornblende von dem ursprünglichen Minerale des Amphibolites. Jüngerer Ansatz von Plagioklas konnte an diesen Bruchgrenzen nicht mit Sicherheit nachgewiesen werden.

Derselbe Vorgang hat sich an zahlreichen geradlinigen oder fast geradlinigen Sprüngen vollzogen, welche namentlich in der Nähe der Bruchflächen den Amphibolit in parallelen Richtungen durchziehen. Manche dieser Sprünge sind von Calcit ausgefüllt; aber an den Rändern macht sich stets die Neubildung von Hornblenden bemerkbar. In anderen Fällen tritt der Calcit sehr zurück, man sieht nur hie und da einzelne Körnchen dieses Mineralen und der Sprung ist durch die von beiden Seiten hereinwachsende Hornblende fast gänzlich geheilt; er bleibt aber im einfachen Lichte als heller Streifen durch die blässere Farbe der neophytischen Hornblende leicht kenntlich (Tafel VII (III), Fig. 4). Die Farbgränze, welche beiderseits die Trace des ersten Sprunges oder der Spaltenränder kenntlich macht, verläuft meist quer auf die Spaltbarkeit und Längserstreckung der Kristallindividuen. Infolge der Unter-

schiede in der Doppelbrechung und Auslöschung der proterogenen und der hysterogenen Hornblende bleibt der Verlauf dieser Kluftausfüllungen auch noch unter gekreuzten Nikols, wenn auch viel weniger deutlich, kenntlich. Auch in diesen Klüften konnte neophytischer Plagioklas nicht beobachtet werden; dagegen findet sich neben Calcit ziemlich verbreitet noch ein zweites farbloses, stark lichtbrechendes Mineral. Die schwache Doppelbrechung mit indigoblauer Interferenzfarbe und ungleicher Auslöschung in verwaschenen Bändern parallel der Spaltbarkeit läßt auf Zoisit schließen, der als typomorpher Bestandteil in diesen Amphiboliten nicht gefunden wurde. Auch Pyrit ist manchmal auf diesen Sprüngen angesiedelt.

Die Quersprünge werden streckenweise sehr dünn und an manchen Stellen verläuft quer über die Hornblenden eine sehr feine, oft etwas wellige Streifung von hellerem Grün; offenbar Zonen geringer Auflockerungen, die durch neophytische Hornblenden rasch wieder verheilt sind. Diese Zeichnung kann auch unscharf werden und in eine verschwommene lichtgrüne Marmorierung übergehen.

Auch sonst findet sich, wenn auch nur vereinzelt, der Ansatz neophytischer Hornblende an den Rändern der bräunlichgrünen Körner, und der geringe Wechsel in der optischen Orientierung erzeugt manchmal in einheitlichen Kristallindividuen ein der undulösen Auslöschung ähnliches Verhalten.¹⁰⁾

Diese minutiösen, inneren Rupturen, die zarten, geradlinig parallelen Sprünge und unbestimmten Auflockerungen, mit den begleitenden Neubildungen von lichter Hornblende und Zoisit, sind ohne Zweifel, ebenso wie die Zertrümmerung im großen bedingt durch die Einbettung des spröden Amphibolites in den nachgiebigeren Kalkstein und können ebenfalls als Beispiele gelten für Zertrümmerung und kristalloblastische Ausheilung in tieferen Umwandlungsstufen.

In ähnlicher Weise wie an den Amphiboliten von Ungarschitz kann man auch an den Aplitbruchstücken im Kalk-

¹⁰⁾ Neophytischer Ansatz von lichter Hornblende wird in Amphiboliten häufig beobachtet, ich verweise nur auf die Beschreibungen von L. Hezner, Beiträge zur Kenntnis der Eklogite und Amphibolite. Tschermaks Min. Mittlg. 1903, Bd. XXII, S. 508.

stein von Spitz schon mit freiem Auge einen rings umgebenden Kontaktsaum wahrnehmen (siehe Tafel VI (II), Fig. 1 und Fig. 2). Ein schmaler grünlicher Streifen von Augit umzieht sowohl die ursprünglichen Kontaktflächen, als auch die neuentstandenen Bruchflächen.

Unter dem Mikroskope sieht man, daß sich der Austausch der Stoffe an beiden Gesteinsgrenzen verschiedener Art wohl in verschiedenem Grade, aber in ähnlicher Form vollzogen hat.

Die hier näher betrachteten, mittel- bis feinkörnigen Aplite gehören einem sehr verbreiteten Typus an. Das meist glimmerfreie Gestein, mit der gewöhnlichen hypidiomorph-körnigen Struktur besteht zu etwa drei Vierteln aus Mikroperthit mit örtlichen verschwommenen Flecken von Mikrokliperthit und häufigen Myrmekitzapfen. Der Rest ist im wesentlichen Quarz. Ein schwach lichtbrechender Plagioklas umsäumt in Form eines dünnen unregelmäßigen Netzwerkes stellenweise den Kalifeldspat. Dazu kommen noch meist kleine und vereinzelte Körner von saurem Oligoklas mit Zwillingsstreifung und Andeutung von normalem Zonenbau. Nur in einzelnen Schlifften sind Plagioklase etwas angereichert und in der etwas kalkreicheren Mischung macht sich dann der Zonenbau durch stärkere glimmigere Zersetzung des Kernes der Plagioklase etwas auffallender bemerkbar. Längliche Titanite sind ziemlich groß und relativ häufig, ebenso die Säulchen und Körner von Apatit. Vereinzelte kleine Körner von diopsidischem Augit mögen auf sekundäre Einwirkung zurückzuführen sein. Calcit ist auf schmalen Klüften eingedrungen.

Den Intrusionskontakt bezeichnet ein zusammenhängender etwa 1—2 mm breiter Streifen von diopsidischem Augit, fast farblos, mit blaß lichtgrünem Schimmer (Tafel VII (III), Fig. 5). Der benachbarte Kalkstein enthält den gleichen Augit, daneben auch runde Körner von Skapolith und Plagioklas. Letzterer zeigt keinen Zonenbau; die Zwillingsstreifen sind relativ breit, ziemlich scharf und einheitlich; nach den Auslöschungen in der symmetrischen Zone ist es kalkreicher Oligoklas oder Oligoklas-Andesin. Schmale Reaktionssäume an der Grenze gegen Augit werden auch hier beobachtet. Die Skapolithe, hier frei von Mikrolithen, treten recht häufig unmitelbar heran an den Augitsaum, sind aber nicht zu den

Mineralen dieses Kontaktsaumes zu rechnen; Plagioklas ist dagegen stellenweise dem Augit des Kontaktsaumes beigemischt.

An den Augitsaum schließt der Aplit zunächst mit einer etwa 3—4 mm breiten plagioklasreichen Zone, die sich bei stärkerer Vergrößerung und verengter Irisblende durch die Lichtbrechung auffallend abhebt von der orthoklasreichen Hauptmasse des Ganges. Der Orthoklas ist dort nur auf schmälere xenoblastische Räume und Streifen zwischen den stärker lichtbrechenden Körnern beschränkt. Unter gekreuzten Nikols ist das Bild dieser Plagioklase sehr verschieden von dem der klaren einheitlichen Plagioklase, welche im benachbarten Kalke und innerhalb des Augitsaumes auftreten. Die Zwillingsstreifung, manchmal äußerst zart, fehlt wieder an anderen Stellen und ist oft auf einzelne Teile, meist auf das Innere der Körner, seltener auf Randpartien beschränkt. Die Auslöschung verhält sich recht ungleich nach verschiedenen Richtungen im selben Korne; sie verläuft bald ganz verschwommen, bald schärfer absetzend. An vielen Stellen ist aber der Zonenbau kaum angedeutet und die ungestreiften Körner löschen in großen Feldern gleichzeitig aus. Periklinlamellen treten neben der Streifung nach dem Albitgesetz häufig auf. Im ganzen ist es mehr das Bild der Plagioklase, wie sie in kristallinen Schieferen auftreten, als jenes der Erstarrungsgesteine. An einzelnen Körnern konnte aber normaler Zonenbau, d. h. kalkärmere Mischung, gegen außen nachgewiesen werden. Auch hier ist der Kern manchmal etwas stärker zersetzt als die Hülle. Dagegen finden sich auch basische Säume an den Berührungsgrenzen gegen den Augit. Einige Beobachtungen in Schnitten beiläufig senkrecht M und P mit symmetrischen Auslöschungen von ca. 10 bis 15°, sowie die Lichtbrechung ($\gamma = \epsilon$, $\alpha > \omega$) zeigen, daß basischer Oligoklas in den Randmischungen vertreten ist.

Die Linie des Bruchkontaktes verläuft unter dem Mikroskope unregelmäßiger und nicht so geradlinig, wie jene des Intrusionskontaktes; aber auch hier ist knapp an der Grenze ein Band von diopsidischem Augit angesiedelt, wenn auch etwas weniger breit und nicht so zusammenhängend wie dort (siehe Tafel VII, Fig. 6), und in dem benachbarten Aplit ist eine bedeutende Anreicherung von Plagioklas nachzuweisen.

Es sind ähnliche oder vielleicht auch kalkärmere Mischungen mit sehr großem Achsenwinkel (zum Teil optisch positiv), wie am Intrusionskontakte, in der gleichen Ausbildungsform. Häufiger sind hier Zwischenlagerungen und unregelmäßige Einschlüsse von Orthoklas. Hie und da springt ein größeres Korn, zusammengesetzt aus verschiedenen, gestreiften Plagioklasen vielleicht mit unregelmäßig fleckigen Einschlüssen von Orthoklas, einzeln vor in den Kalkstein; an seinem Rande sind Augite angesiedelt (siehe Tafel VII (III), Fig. 6). An manchen Stellen können auch Orthoklas und Kalke unmittelbar aneinanderstoßen; aber im Ganzen kann kein Zweifel darüber bestehen, daß auch am Bruchkontakte ein stofflicher Austausch zwischen Kalk und Aplit stattgefunden hat.



Der Nachweis eines stofflichen Austausches und einer Umformung der Gesteine durch Neukristallisation im starren Zustande dürfte kaum deutlicher gebracht werden können, als durch die Neubildung von Silikaten an den Bruchflächen der zertrümmerten Amphibolite und Apliten im Kalkstein.¹¹⁾ Die eigentliche Metamorphose, die Umbildung eines basischen Eruptivgesteines zum Amphibolit und die Ausscheidung des Graphits aus den bithuminösen Substanzen des Kalksteines, waren offenbar bereits vollendet, als die Zertrümmerung eintrat, und die beschriebenen Apliten von Spitz gehören nicht der Endphase aller Umbildungsvorgänge im Kalkstein an. Auch sie wurden noch nach erfolgter Zertrümmerung an den Bruchflächen von kalkreichen Lösungen beeinflusst. Trotz weitgehender mechanischer Umformung ist keine Zerstückelung im Kleinen, keine eigentliche Kataklase zustande gekommen. Der Kalkstein

¹¹⁾ Erscheinungen derselben Art beschrieb bereits G. Klemm an einem Einschlusse im Marmor von Auerbach an der Bergstraße. [Notizblatt des Vereines für Erdkunde und der Großh. Geol. Landesanstalt, Darmstadt 1903, IV. Folge, H. 24.] Ein kopfgroßes Bruchstück von nahezu rechteckigem Querschnitt, bestehend aus parallelstruierem Kalksilikatfels, wird allseitig umrandet von einer Kontaktzone von Plagioklas und Wollastonit. Prof. Klemm ist jedoch der Ansicht, daß der Einschluß während der Ablagerung in den Kalkstein gelangt war und daß die chemische Wechselwirkung, zwischen Kalk und Einschluß, erst unter dem Einflusse des Granites, der den Kalkstein in Marmor umwandelte, stattgefunden hatte.

konnte, vermöge seiner leichteren Löslichkeit, durch Neukristallisation der Verschiebung der Teile nachfolgen; und die Neubildung der Silikate liefert den Beweis, daß tatsächlich eine Lösung stattgefunden hat. Ebenso, wie er die jüngsten Spalten in Form von weißen Adern füllte, so drang der Kalk in die Räume zwischen den auseinanderweichenden Amphibolitschollen. Hätte Aufschmelzung stattgefunden, so hätte der Zusammenhang der einzelnen konzentrischen Graphitstreifen verloren gehen müssen.

Eine beschleunigte Bewegung wird eine gesteigerte Zertrümmerung, eine Vermehrung der Angriffsflächen für die mechanische Korrosion zur Folge haben. Die scharfen Ecken werden abgescheuert; es erfolgt eine Auflösung der Bänke in Zonen und Streifen kleinerer Trümmer. An die Stelle der scharf begrenzten Amphibolitlager treten unregelmäßig verschwommene Streifen und Linsen verschiedenartiger Kalksilikate oder unregelmäßigere Körper und Schmitzen von Amphibolit, umrahmt von Skapolith, Augit, Vesuvian u. a., wie sie häufig in den Kalken des südböhmischen Grundgebirges gefunden werden und wie sie z. B. Becke von Groß-Motten bei Gföhl genauer beschrieben hat.¹²⁾ In gleicher Weise sind isolierte, abgequetschte kleinere Kalklinsen im Gneis, manchmal von Kontaktmineralien, bzw. einer Hülle von Augitgneis umrahmt, ohne daß hieraus notwendig auf Eruptionsvorgänge geschlossen werden muß.¹³⁾

Die Loslösung der Amphibolitschollen in Form eckiger Bruchstücke entspricht einem gewissen Stadium des unterbrochenen mechanischen Vorganges. Bei längerer Dauer oder größerer Geschwindigkeit des Prozesses werden weitgehendere Auswalgungen stattfinden und die Umrissse der Einschlüsse mehr verwischt werden. Wie oben erwähnt wurde, finden sich die eckigen Bruchstücke im Kalksteine vorwiegend in einer westlichen Zone des mährisch-niederösterreichischen Grundgebirges zwischen Sedimentgneisen.¹⁴⁾ Weiter im Osten werden diese

¹²⁾ F. Becke, *Tschermaks Min. Mittlg.* 1882, N. F. Bd. IV, S. 391.

¹³⁾ *I. c.*, S. 387.

¹⁴⁾ Vgl. F. E. Suess, *Die Beziehungen zwischen dem moldanubischen und dem moravischen Grundgebirge in dem Gebiete von Frain und Geras.* *Verh. d. Geologischen Reichsanstalt* 1908, S. 395.

Gneise abgelöst durch schuppige Zweiglimmergneise und Glimmerschiefer; in den gleichen sedimentären Serien sind hier unter zunehmendem Streß mehr „schieferholde“ Minerale (Becke) zur Ausbildung gelangt. In den Marmorlagen dieser ausgedehnten Zone findet man wohl häufige Linsen und Bänke von Amphibolit, noch häufiger Schmitzen verschiedener Kalksilikatgesteine, — nach meiner bisherigen Erfahrung aber keine eckigen Bruchstücke.

Die ungleiche Löslichkeit verschiedener Gesteine äußert sich im mechanischen Vorgange in ähnlicher Weise, wie ungleiche Kohäsion oder innere Reibung nebeneinander bewegter, fester oder zäher Massen. Die beschleunigte Bewegung des Kalksteines hat die Zertrümmerung des Amphibolites verursacht, in ähnlicher Weise, wie etwa Eisschollen durch bewegtes Wasser zerbrochen werden, während der Gletscher sich als einheitlich plastische Masse bewegt. Anders wird der Vorgang sich abspielen, wo nur Silikatgesteine aneinandergrenzen. Dann werden ruptuelle Erscheinungen, wegen der gleichen Geschwindigkeit des Vorganges in der ganzen Gesteinsmasse, nur sehr selten auftreten. Das allgemeine Bild des gleichförmigen „Gesteinsfließens“ wird allerdings auch in dieser Zone durch manche Einzelheiten gestört; Konzentrationsvorgänge, Aderbildungen durch Ausscheidung, Anreicherung mancher Bestandteile durch Beiseiteschieben während der Kristallisation, die Zertrümmerung einzelner größerer Kristalle, wie Turmalin oder Staurolith im kristalloblastischen Grundgewebe mögen die Ausbildung der Kristallisationsschieferung begleiten; da und dort mögen auch innere Loslösungen von Gesteinsbruchstücken zur Bildung von Einschlüssen führen. Es entstehen in Granuliten und Gneisen Faltungen und Bänderungen um basische Einschlüsse, die angesichts des Mangels an Kataklase in einzelnen von vielen Forschern als unbedingtes Zeugnis eines eruptiven Vorganges, verbunden mit fluidaler Erstarrung, angesehen werden, die aber im Wesen vollkommen der Bänderung des Kalksteines gleichen, welche die von Kontaktmineralien umrandeten Bruchstücke umfließt.

Diese Erwägungen stehen allerdings im Gegensatze mit gegenwärtig sehr verbreiteten Lehrmeinungen über die Bildungsweise der kristallinen Schiefer, welche ent-

scheidend sind für unsere Vorstellungen über den Bau und das Alter der tieferen Gebirgsteile und die u. a. insbesondere in den neueren Auffassungen des sächsischen Granulitgebirges und des Erzgebirges¹⁵⁾ als einheitliche Lakolithen mit schiefrigen Kontakthöfen und als Produkte eines einheitlichen relativ jungen eruptiven Vorganges, zum Ausdruck kommen. Diese Theorien sind geradezu in erster Linie auf die Meinung gegründet, daß eine Umformung im Festen in Begleitung mechanischer Vorgänge ohne Kataklase nicht möglich sei, und daß demnach alle Kristallisation, soweit sie zusammenhängende Gesteinsmassen betrifft, auf eruptive Einwirkung zurückzuführen sei. Jede Konkordanz der Schieferung, jede Abstufung der Metamorphose wird zugunsten der Gleichzeitigkeit und Einheitlichkeit des Vorganges und wohl auch in dem Sinne gedeutet, daß die metamorphen Schiefer einen einheitlichen konkordanten Komplex darstellen, ohne Rücksicht darauf, in welchem hohem Grade, nach neueren Erfahrungen in den Alpen und anderen jüngeren Gebirgen, tektonische Vorgänge imstande sind, die ursprünglichen Gesteinsgrenzen und Diskordanzen zu verwischen und scheinbare Konkordanzen und Uebergänge zu erzeugen. Es sei nur erinnert an die vor kurzem von Steinmann beschriebenen innigen Mischungen und Verketungen von Flysch und Seewenkalk im Gebiete der Glarner Ueberschiebung.¹⁶⁾ Gesteigerte Metamorphose würde hier das Bild allmählichen Ueberganges und vollkommener Konkordanz zwischen zwei verschiedenen Gesteinen noch vervollständigen. Alles deutet darauf hin, daß die Vorgänge bei der Bildung großer, mannigfacher Grundgebirgskomplexe nicht so einfach und einheitlich sind, wie obige Theorien annehmen.

Von vielen Argumenten, die zugunsten einer Metamorphose, eines Kristallwachstums im festen Zustande unter dem Einflusse von Bewegungsvorgängen geltend gemacht werden

¹⁵⁾ H. Credner, Die Genesis des sächsischen Granulitgebirges. Renuntiationsprogramm. Philos. Fakultät der Universität Leipzig 1906 und Zentralblatt f. Mineralogie etc. 1907, S. 513. C. Gäbert, Die Gneise des Erzgebirges und ihre Kontaktwirkungen. Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Ges. 1907, S. 308.

¹⁶⁾ G. Steinmann, Ueber Gesteinsverketungen. Neues Jahrbuch f. Mineralogie etc. Festband 1807, S. 330.

können, sollte hier aber nur eines hervorgehoben werden: die Neubildung von Silikatmineralen der tieferen Umwandlungsstufen, die man sonst wohl auch als Kontaktminerale bezeichnet, an Bruchflächen, die nur im festen Gestein, nach vollzogener Metamorphose, entstanden sein können. Kalkreicher Plagioklas und Augit sind an Bruchgrenzen zwischen Kalk und Silikatgesteinen mit allen Merkmalen kristalloblastischen Wachstums zur Ausbildung gelangt.

Erklärung der Tafeln.

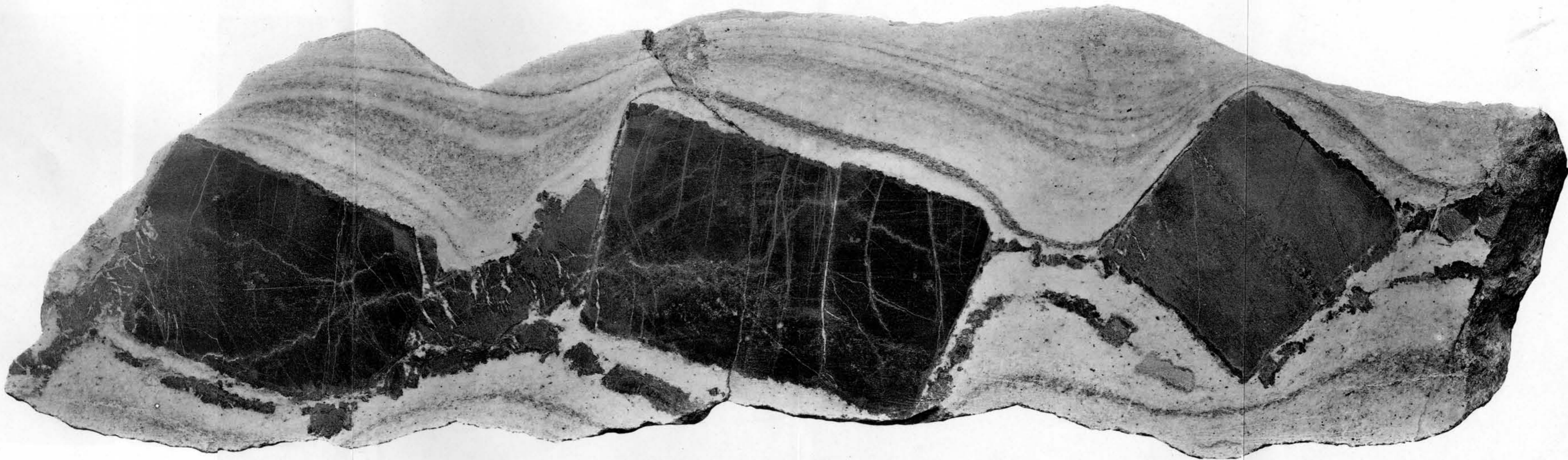
Tafel V (I). Block aus den Marmorbrüchen von Ungarschitz (Mähren), natürliche Größe. Eine Bank von dunkeln Amphibolit im Marmor ist in eckige Trümmer zerlegt und auseinandergezerrt. Die graphitische Bänderung des Kalkes schmiegt sich den Bruchstücken an. Ein Saum von zersetzten Kontaktmineralen ist sowohl den Schichtflächen wie den Bruchflächen des Amphibolites angelagert. Näheres siehe Seite 258 ff.

Tafel VI (II). Zertrümmerte Aplitgänge im kristallinen Kalkstein von Spitz a. d. Donau (Niederösterreich). Blöcke in der Futtermauer der neuen Bahnlinie, zirka ein Achtel der natürlichen Größe. Fig. 2. Ein Gang an parallelen Sprüngen zerstückelt, die einzelnen rechteckigen Bruchstücke sind schief aneinander abgeglitten. Fig. 1. Gang in rechteckige Trümmer zerlegt und auseinandergezerrt, so daß die Bruchstücke im Kalkstein zu schwimmen scheinen. Jedes Bruchstück ist sowohl an der Kontaktfläche als auch an der Bruchfläche von einem dunklen aus Augit bestehenden Streifen rings umgeben. Siehe Seite 266 und 270.

Tafel VII (III). Fig. 1. Poikiloblastischer Plagioklas an der Grenze zwischen Amphibolit und Kalk. Links oben Calcit, rechts unten Hornblende des Amphibolites, zwischen welche der kalkreiche Plagioklas des Kontaktes eindringt. (Vergr. 30.) Siehe Seite 264.

Fig. 2. Dieselbe Stelle im einfachen Lichte. Die Pyroxenkörner im Plagioklas und an der Grenze gegen den Calcit werden durch die leichte Trübung, infolge Zersetzung in Talk, kenntlich (besonders ein größeres Korn links ober der Mitte). Die zahlreichen Körner von Titanit treten gleich auffallend hervor im neugebildeten Plagioklas wie im Amphibolit. Siehe Seite 264.

Fig. 3. Vorspringende Ecke eines Amphibolitbruchstückes im kristallinen Kalkstein. Obere Kante, linke Seitenkante der Figur und die linke Hälfte der unteren Kante: grobkörniger Calcit. Rechte Kante und rechte Hälfte der unteren Kante: Amphibolit. An der Grenze beider Gesteine befindet sich ein zusammenhängendes unregelmäßiges Band von Plagioklas, welches sich in der Figur durch die glattere Fläche von dem Calcit abhebt. Die Titanite,



Phot. u. Druck v. M. Jaffé, Wien.



1

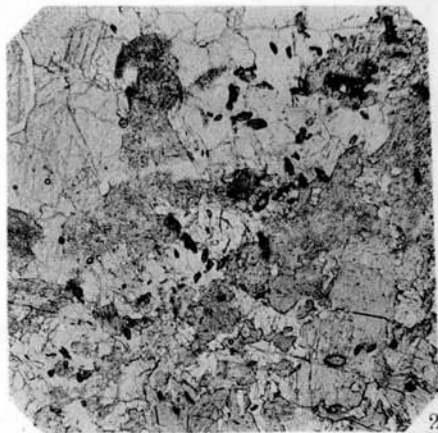


2

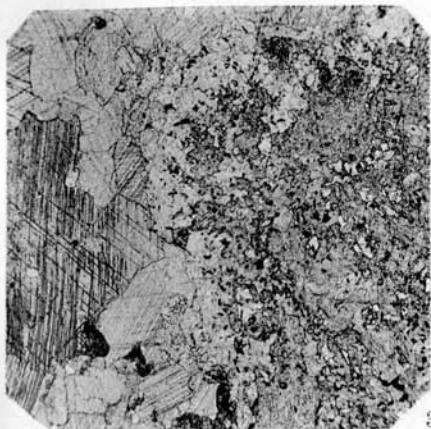
Mitteilungen der geologischen Gesellschaft in Wien, Bd. II, 1909.



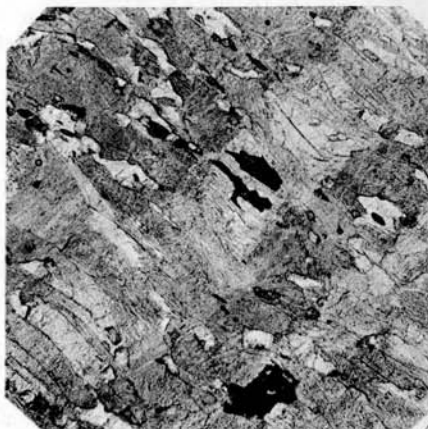
1



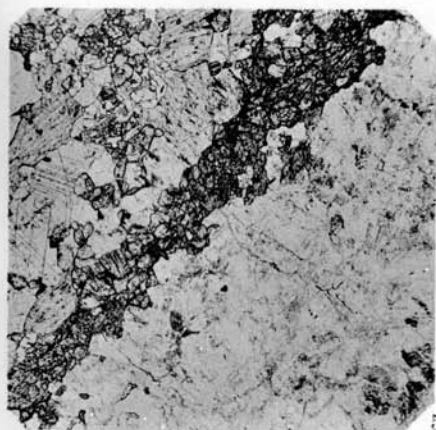
2



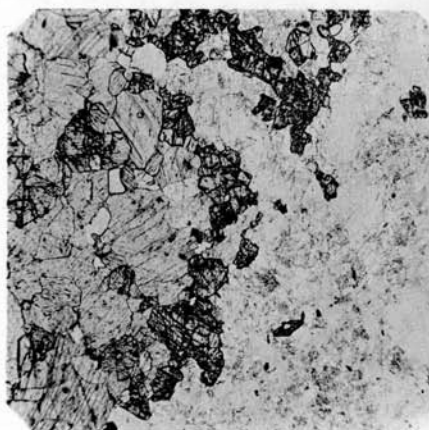
3



4



5



6

F. Reinhold phot.

Lichtdruck v. Max Jaffé, Wien.

welche als kleine dunkle Pünktchen erscheinen, finden sich in ähnlicher Verteilung im Plagioklas wie im benachbarten Amphibolit. (Vergr. 13.) Siehe Seite 264.

Fig. 4. Amphibolit; ein ausgeheilter Sprung zieht diagonal durch die Figur von links unten nach rechts oben. Ein schwächerer paralleler Sprung liegt näher der rechten unteren Ecke. Die Sprünge queren senkrecht die Schieferung des Amphibolites. An die dunklere Hornblende hat sich an beiden Seiten lichtere Hornblende mit spitzigen oder faserigen Enden angesetzt. Sie erscheint in der Figur stellenweise fast farblos. Die Hornblende in der unmittelbaren Nähe der Sprünge zeigt unbestimmte hellere Streifen, ähnlich einer Marmorierung. Die farblosen Minerale innerhalb der Sprünge sind nicht Plagioklas, wie in den Amphiboliten, sondern zum größeren Teil Zoisit (wie z. B. die größeren Leisten in der Nähe der Ecke links unten), zum kleineren Teile Calcit (wie in der äußersten Ecke rechts oben). Die stärker hervortretenden rundlichen oder länglichen Körnchen von Titanit sind zahlreich im Amphibolit und fehlen in den ausgeheilten Sprüngen. Pyrit mit unregelmäßigem Umriss ist innerhalb der Sprünge rechts ober der Mitte der Figur und in der Nähe des unteren Randes sichtbar. (Vergr. 32.) Siehe Seite 268.

Fig. 5. Ursprünglicher Kontakt zwischen Aplit und kristallinischem Kalkstein. Links oben Calcit mit kleineren Körnern von diopsidischem Augit, mit etwas Plagioklas und Skapolith. Rechts unten Aplit. An der Grenze zwischen beiden ein stark hervortretender Saum von dicht gedrängten Augitkörnern. Der breitere plagioklasreiche Saum im Aplit kann wegen der geringen Vergrößerung nicht durch die Lichtlinie sichtbar gemacht werden. (Vergr. 12'5.) Siehe Seite 270.

Fig. 6. Bruchkontakt zwischen Aplit und kristallinischem Kalkstein. Der Augitsaum an der Grenze beider Gesteine ist weniger gleichmäßig als auf Fig. 5, aber dennoch deutlich sichtbar. In der oberen Hälfte der Figur springt eine Gruppe von Plagioklaskörnern, umrandet von Augit, vor in den Kalkstein. (Vergr. 12'5.) Siehe Seite 272.

(Die Mikrophotographien wurden durch Herrn Dr. F. Reinhold, Demonstrator am I. Mineralog. Institute der Universität, hergestellt. Ich sage ihm hierfür an dieser Stelle meinen besten Dank.)