

12. Vergleichende Studien über den Contactmetamorphismus.

Von Herrn E. WEINSCHENK in München.

„Und dass mich zuweilen bedünken will, gar manche der vielgepriesenen Wunder des Metamorphismus dürften recht passenden Stoff zu einem 16. Buche der Ovidischen Metamorphosen liefern.“

C. F. Naumann.

Lehrbuch der Geognosie 1853, 2. Aufl., S. 554.

Schon in den ersten Epochen geologischer Forschung ist es aufmerksamen Beobachtern nicht entgangen, dass die in schmelzflüssigem Zustande aus dem Erdinnern hervorgeprägten Massen nicht durch Schmelzung der Nebengesteine ihre Wirksamkeit erweisen, sondern dass namentlich Mineralneubildungen mannigfaltigster Art da auftreten, wo vulcanische Gesteine andere durchbrechen. Die Gesamtheit dieser Veränderungen und Neubildungen, die sich naturgemäss am intensivsten an der Grenze zwischen den beiden Gesteinen einstellen, bezeichnet man mit dem Namen des Contactmetamorphismus, wobei man die Veränderungen, welche das Eruptivgestein selbst gegen den Contact zu erleidet, als endogene Erscheinungen den exogenen gegenüberstellt, die im Nebengestein, im eigentlichen Contactgestein zu beobachten sind. Ein eingehenderes Studium der ersteren ist erst vor verhältnismässig kurzer Zeit möglich geworden; auch hier sollen diese nur ganz vorübergehend gestreift werden, während in der Hauptsache eine Besprechung des exogenen Contactmetamorphismus beabsichtigt ist.

Verhältnismässig selten und stets nur auf ganz untergeordnete Gesteinspartien beschränkt ist diejenige Art der umbildenden Wirksamkeit durch vulcanische Massen, welche man von vorn herein als vorherrschend erwarten sollte, nämlich die einfache Hitzewirkung, die in einer Schmelzung des Nebengesteins zum Ausdruck kommt. Und dies war hauptsächlich für die ältere Geologie eine schwer verständliche Erscheinung, als man noch keinen Unterschied kannte zwischen der Zusammensetzung des Magmas, welches Anlass zur Entstehung eines Granites gegeben hat, und dem Schmelzproduct, welches durch künstliche Umschmelzung desselben Granites entsteht. Wie überhaupt alle Erscheinungen, die uns

die Tiefengesteine darbieten, bei der Annahme eines einfachen Schmelzflusses vollständig unerklärlich sind, und wie die älteren Geologen, die sich mit der Entstehung dieser Gesteine beschäftigten, Theorie über Theorie häufen mussten, um selbst die gewöhnlichste Erscheinung eines Granites oder Syenites zu erklären, so erregte auch das auffallende Factum, dass die bedeutendsten Massen solcher Tiefengesteine, denen man eine enorm hohe Temperatur zur Zeit ihrer Verfestigung zuschrieb, eine eigentliche Hitzewirkung in ihrer Umgebung nicht erkennen lassen, schon frühe eine ganze Reihe von Controversen.

Die Ueberspannung der plutonisch-vulcanischen Theorien führte zur Reaction, zum Ultraneptunismus, wie ihn BISCHOF in seiner chemischen Geologie festlegte, zu Anschauungen, welche für uns moderne Menschen in zahlreichen Fällen kaum mehr discutabel erscheinen, die aber für die Wissenschaft den hohen Wert besitzen, dass sie zum Nachdenken über die in der Natur sich abspielenden Prozesse anregten. Die durch zahlreiche experimentelle Versuche illustrierten Abhandlungen von BISCHOF führten die Geologen auf einen Weg, welcher sich später als eminent fruchtbar erwies, besonders für die Lehre von der chemischen Tätigkeit des Vulcanismus, auf den Weg der Experimente. Da brauchen wohl nur Namen wie DAUBRÉE, FOUQUÉ und MICHEL-LÉVY genannt zu werden, um die Bedeutung der Experimente für unsere gesammten Anschauungen auf dem Gebiete der chemischen Geologie klar vor Augen zu stellen.

Wenn wir die Zusammensetzung der aus dem Erdinnern hervordringenden Schmelzmassen betrachten wollen, so können wir uns aus einer Reihe von Begleiterscheinungen der vulcanischen Tätigkeit ein Bild von derselben machen. Directer Untersuchung zugänglich ist sie jedoch nur in einer geringen Anzahl von Fällen, da im Allgemeinen vor oder während der Gesteinsverfestigung manche Substanzen verloren gegangen sind, deren hervorragende Wichtigkeit für die Gesamtheit der chemischen Vorgänge, die den Vulcanismus begleiten, auf experimentellem Wege über jeden Zweifel festgestellt ist.

Obwohl die vulcanische Tätigkeit, welche sich heutzutage vor unseren Augen abspielt, nur ein schwaches Bild giebt von dem enorm mächtigen Wirken vulcanischer Kräfte in vergangenen geologischen Perioden, wo Schmelzmassen zwischen die Gesteine eindringen und an der Erdoberfläche hervorbrechen, die jetzt das Gerüste der mächtigsten Gebirge bilden, so zeigen uns doch die Erscheinungen an den modernen Vulcanen den Weg, auf welchem die Lösung unserer Frage zu suchen ist. Die Dampfwolken, welche allenthalben das Hervorbrechen der Laven begleiten, geben Zeugnis

davon, dass die in der Tiefe unserer Erde vorhandenen schmelzflüssigen Massen mit Gasen und Dämpfen mannigfaltiger Art gesättigt sind, welche, gelöst in dem Schmelzfluss, von dem in der Tiefe herrschenden hohen Druck zurückgehalten werden, beim Hervordringen an die Oberfläche aber unter Aufkochen der Lava aus derselben entweichen. Wir müssen annehmen, dass ungeheure Mengen bei der hohen Temperatur der Schmelzflüsse gasförmiger Substanzen, in erster Linie das Wasser, in den flüssigen Teilen unseres Erdinnern gelöst sind, Substanzen, welche nicht etwa erst kurz vor oder bei einer Eruption secundär zu dem Schmelzfluss hinzugekommen sind, sondern die demselben von jenem Augenblick an eigen waren, als sich aus dem Chaos des Nebelballs unter dem Drucke einer noch viel mächtigeren Atmosphäre die ersten glutflüssigen Massen abschieden.

Da diese gasförmigen Substanzen bei dem Hervordringen des Schmelzflusses an die Oberfläche verloren gehen, wie uns die aus unseren Vulkanen aufsteigenden Dampf Wolken beweisen, so finden wir bei der chemischen Untersuchung solcher oberflächlich ergossener Gesteine keine oder nur geringe Spuren von denselben mehr vor, aber auch die unter hohem Druck in der Tiefe verfestigten Gesteine lassen nur in seltenen Fällen noch deutlich solche, für das Verständnis der ganzen vulcanischen Erscheinungen so eminent wichtige Faktoren erkennen. Auch hier sind sie in weitaus den meisten Fällen verloren gegangen und zwar in Folge der Krystallisation wasserfreier Silikate aus dem wasserhaltigen Schmelzfluss.

Das Verhältnis, in welchem Wasser in diesen schmelzflüssigen Massen vorhanden war, wird gewöhnlich sehr unterschätzt, es war nicht ein untergeordneter, sondern vielmehr ein wichtiger Bestandteil, dessen Bedeutung wir analytisch nachweisen können in einigen unter hohem Druck plötzlich fest gewordenen Gesteinen, den Pechsteinen, welche uns zwar wohl nicht den ganzen ursprünglichen Wassergehalt des Schmelzflusses, aber doch wohl den grösseren Teil desselben erhalten haben.

Die wasserreichsten Pechsteine, welche vollständig frisch und unverändert sind, haben einen Gehalt bis zu ca. 8% Wasser; man darf also wohl annehmen, dass 10—12% Wasser in dem ursprünglichen Schmelzfluss vorhanden war, aus dem der Pechstein sich verfestigte. Auf Volumprocente ungerechnet, führt das zu der erstaunlichen Menge von ca. 25—30% des ganzen Magmas oder in einem Cubikmeter desselben war eine Quantität überhitzten Wassergases gelöst, welche bei + 4° ca. 250—300 Liter ausgemacht hätte. Die Lösungsfähigkeit der in Betracht kommenden Schmelzflüsse für die verschiedenen Gase ist uns heute noch so

gut wie ganz unbekannt, wir können somit auch nicht den Druck einer solchen Lösung berechnen. Soviel aber dürfte sicher sein, dass das Freiwerden dieser im Schmelzfluss gelösten Gase, welches bei der Krystallisation derselben eintritt, einer bedeutenden Steigerung des Druckes gleichkommt. Nehmen wir nun die ungeheuren Massen von Gasen, welche in einem mächtigen Granitstock enthalten sind, und stellen wir uns vor, dass ein solches Magma unter enorm hohem Druck 10—12 Gewichtsprocente weit über den kritischen Punkt erhitzten Wassergases an die Umgebung abgeben konnte, so ist die intensive Veränderung, die in den Nebengesteinen eines solchen Granitstockes vor sich gegangen ist, keineswegs wunderbar. Man wird zwar die Berechnung eines so hohen Gehaltes an Wasser in einem schmelzflüssigen Magma phantastisch nennen, und ich bin auch weit entfernt zu behaupten, dass immer oder nur in der Regel derselbe so bedeutend gewesen ist, andernteils aber weist der hohe, analytisch nachgewiesene Wassergehalt einiger Pechsteine mit nicht anzuzweifelnder Sicherheit auf die Möglichkeit von Verhältnissen hin, wie sie eben geschildert wurden.

Das Wasser ist nicht die einzige Substanz, welche von dem erstarrenden Magma abgegeben wird, sondern es sind in bedeutender oder weniger bedeutender Menge eine Reihe anderer bei der hohen Temperatur gleichfalls gasförmiger Substanzen in demselben gelöst, die bei der Krystallisation abgestossen werden, so vor allem Salzsäure resp. Salmiak und Alkalichloride, Kohlensäure und Schwefelwasserstoff, schweflige Säure und Sulfate, Phosphate, Fluoride und Borsäure, kurzum eine Menge chemischer Agentien, welche sehr reactionsfähig sind, und die bei den intensivsten Gesteinsumbildungen eine hervorragende Rolle gespielt haben. Das Vorhandensein all dieser Agentien in dem Magma können wir an den jetzt noch tätigen Vulkanen in den von der Lava ausgestossenen Dämpfen mit Sicherheit nachweisen, wir finden sie z. T. auch in den Umwandlungsproducten wieder, welche durch die contactmetamorphische Wirkung von Intrusivmassen entstanden sind. Doch ist stets nur eine ganz untergeordnete Menge derselben in das Contactgestein selbst übergegangen, weitaus die Hauptmasse derselben ist verschwunden und jedenfalls in Form löslicher Salze von den Wassern weggeschwemmt worden.

Diesen im Magma gelösten Dämpfen, dem Wasser und seinen Begleitern, schreibt man, — wie das Experiment beweist, mit Recht — in den kieselsäurereichen Gesteinen zunächst die Rolle zu, die Krystallisation dieser an sich aus dem Schmelzfluss nicht krystallisierbaren Mineralaggregate überhaupt zu ermöglichen und man nennt sie daher mineralbildende Agentien, „agents minéralisateurs“. Sie treten bei der Krystallisation nur unter

besonders gearteten Umständen in die Constitution der sich bildenden Mineralien ein, gewöhnlich werden sie mit fortschreitender Verfestigung des Gesteins mehr und mehr abgestossen und diffundiren fortgesetzt während der Jahrtausende in Anspruch nehmenden Abkühlung in das an sich schon durch die Gluthitze des Schmelzflusses stark erwärmte Nebengestein, in welchem sie, je nach dessen Beschaffenheit auf weitere oder weniger weite Entfernungen sich fortbewegen, als Träger der erhöhten Temperatur einesteils, als mineralbildende Agentien andernteils wirkend, bis ihre Reactionsfähigkeit und ihre Beweglichkeit innerhalb des Gesteins durch die mehr und mehr sich erniedrigende Temperatur abgeschwächt wird, und sie endlich in Form heisser Quellen aus der Tiefe an die Oberfläche dringen. Eine gleichmässige Durchschwängerung des ganzen Nebengesteins mit diesen Agentien wird vor allem in denjenigen Zonen stattfinden, in welchen das Wasser unter allen Druckverhältnissen gasförmig ist, wo also die allgemeine Temperatur 365° übersteigt, sie wird um vieles unvollkommener durch das verflüssigte Wasser erreicht, welches sich hauptsächlich auf den Spalten und Klüften des Gesteins fortbewegt.

Ueber die Temperatur, die z. B. ein granitischer Schmelzfluss besass, als er zwischen die Schichten eindrang, in denen er der Erstarrung anheimfiel, wissen wir so gut wie gar nichts. Die ungeheuren Temperaturgrade, welche die ältere Geologie annehmen zu müssen glaubte, dürften die Wahrheit um vieles überschreiten, um Temperaturen von $10\ 000^{\circ}$ oder $20\ 000^{\circ}$ dürfte es sich dabei keineswegs handeln. Immerhin ist in einzelnen Fällen eine recht bedeutende Hitze nicht unwahrscheinlich. Beobachtet man z. B. die applitartigen Apophysen granitischer Gesteine, wie sie sich auf das Mannigfachste im Nebengestein verästeln und sich in die feinsten Aederchen zerspalten, so muss man doch wohl eine ungemein leichtflüssige Beschaffenheit derselben annehmen, um ihre Erscheinungsform zu erklären. Mag nun immerhin der hohe Gehalt an mineralbildenden Agentien, die gerade in diesen Abzweigungen, allen Anzeichen nach zu urtheilen, in besonderem Masse vorhanden gewesen sein müssen, schon bei verhältnismässig niedriger Temperatur eine leichte Beweglichkeit derselben hervorgebracht haben, so war doch jedenfalls die Hitze eine ziemlich bedeutende. In besonderem Masse spricht für eine solche Hitze in dem schmelzflüssigen Magma die Erscheinung, dass selbst die feinsten Apophysen, die auf weite Entfernung im Nebengestein sich verzweigen, eine völlig krystallinische Beschaffenheit angenommen haben. Wäre das Nebengestein, in das sich solche an Kieselsäure reiche Apophysen ergossen, nicht ansreichend vorgewärmt gewesen und wäre infolgedessen eine Aenderung der physikalischen Bedingungen des

Schmelzflusses rasch eingetreten, so musste allen Erfahrungen nach die Verfestigung zur Ausbildung glasiger Massen, etwa von Pechsteinen, führen, ganz abgesehen davon, dass die feine Verästelung und Verzweigung, welche solche Gänge zumal in den Centralalpen aufweisen, die rasche und daher glasige Erstarrung der Gesteine begünstigen musste. Es mag gleich hier darauf hingewiesen werden, dass für basische Gesteine, die an sich schon leichter flüssig zu sein pflegen, die Verhältnisse anders liegen: bei ihnen führt auch eine verhältnismässig rasche Abkühlung oft noch zur Bildung krystallinischer Mineralaggregate, und wir beobachten demgemäss in der Natur, dass die besonders weit von dem vulcanischen Herd abzweigenden Gänge der kieselsäurereichen Gesteine als Pechsteine oder Pechsteinporphyre zur Ausbildung gekommen sind, während analoge Gänge von Diabas und Basalt zu ziemlich krystallinischen Gesteinen wurden. Wenn man auch die horizontale Entfernung an der Oberfläche, die solche Apophysen von dem Hauptmassiv trennen, nicht für die wahre Entfernung derselben von dem vulcanischen Herd anzusehen braucht, der in der Tiefe meist viel näher liegen dürfte, so trifft man doch z. B. in den Centralalpen bei steilem Einfallen der Schichten granitische Apophysen manchmal noch in einer Entfernung von mehreren Kilometern quer zum Streichen gemessen vom Centralmassiv entfernt, und auch die Areale, welche die mehr oder weniger mit granitischem Schmelzfluss imprägnierten Hornfelse des bayrischen Waldes aufweisen, sind kaum minder bedeutend.

Mit Sicherheit lässt sich in Beziehung auf die wahrscheinliche Temperatur eines Magmas nur der eine Punkt festlegen, dass nämlich oberhalb des Schmelzpunktes des zuerst sich ausscheidenden Hauptgemengtheils das Magma noch eine völlig flüssige Beschaffenheit gehabt haben muss. Keine Substanz ist in krystallisiertem Zustand bestandfähig oberhalb ihres Schmelzpunktes, dessen Höhe allerdings durch die äusseren physikalischen Bedingungen wesentlich beeinflusst wird, aber immerhin nicht in dem Masse, dass die Unterschiede für die in Rechnung zu ziehenden stark abgerundeten Zahlen in Betracht kommen würden. So ist z. B. für einen Biotitgranit das älteste Ausscheidungsproduct der Biotit, dessen Schmelzpunkt selbst bei stark veränderten physikalischen Bedingungen immer noch in der Nähe von tausend Grad liegen dürfte. Wir können somit annehmen, dass ein Granit bei Temperaturen, die weit unter der Hitze unserer Hochöfen liegen, noch vollständig schmelzflüssig war. Betrachten wir die Verhältnisse im Grossen und Ganzen, so wird zu betonen sein, dass die Temperatur, welche die aus der Tiefe hervordringenden Magmen besitzen, nicht so enorm hoch gewesen ist, wie man früher annehmen

zu müssen glaubte, dass aber andererseits auch kein Grund vorliegt, dieselbe in verschiedenen Fällen für einigermaßen gleich zu halten. Denn der granitische Schmelzfluss, welcher aus der Tiefe empordringt, wird im Allgemeinen nicht in directem Zusammenhang mit dem schmelzflüssigen Erdkern stehen, sondern ist wohl in den meisten Fällen lange vorher von diesem abgetrennt in tiefgelegenen Hohlräumen der festen Erdkruste eingepresst worden, wo er langsamer Abkühlung und damit Hand in Hand gehend mannigfachen Spaltungsprocessen unterlag. Erst durch weitere Störungen im Bau der festen Erdkruste drang er weiter nach oben und erreichte schliesslich die Stelle, an welcher er der Erstarrung anheimfiel. Ohne die Annahme eines derartigen intermediären Stadiums sind zahlreiche Erscheinungen, welche wir in weitester Verbreitung beobachten, vollständig unerklärlich, so vor allem die Blutsverwandtschaft der mannigfaltigen Gesteine einer sog. petrographischen Provinz. Die neueren Theorien des Vulcanismus setzen einen derartigen Zustand als notwendig voraus.

Die Wirkung, welche ein Eruptivgestein auf seine Umgebung ausübt, wird mehr oder minder hervorgebracht und modificiert durch folgende vier Factoren:

1. die Hitze, welche der sich verfestigende Schmelzfluss abgibt.
2. die Mineralbildner, welche gleichzeitig mit der Krystallisation aus dem Magma entweichen,
3. den Druck, welcher während der Gesteinsverfestigung herrscht und
4. die Zeit, die zwischen dem Eindringen und dem Erkalten des Schmelzflusses verstreicht.

Alle diese Factoren sind wechselnd und können sich in der mannigfaltigsten Weise combinieren: die an die Oberfläche dringenden Gesteine sind meist an Masse nicht allzubedeutend, sie erstarren unter geringem Druck verhältnismässig rasch; die Mineralbildner entweichen in die Atmosphäre, und der hauptsächlichste Factor bei der Einwirkung effusiver Gesteine auf ihre Einschlüsse und ihre Umgebung wird die Hitze sein, welche sich in einer Frittung oder partiellen Schmelzung derselben zu erkennen giebt.

Die Intrusivgesteine sind meist an Masse viel bedeutender; ihre Erstarrung geht deshalb und wegen der schlechten Leitungsfähigkeit der sie rings umschliessenden Gesteine langsamer von statten, die Mineralbildner werden durch den Druck zurückgehalten und diffundieren langsam, aber stetig während der Krystallisation in die Nebengesteine, in denen sie die hohe Temperatur gleichzeitig auf weitere Entfernungen verbreiten.

Aber auch bei diesen Gesteinen sind minder weitgehende

Unterschiede vorhanden: basische Gesteine scheinen im Allgemeinen weniger reich an Mineralbildnern zu sein als kieselsäurereiche und namentlich als solche, die einen hohen Gehalt an Alkalien aufweisen. Die Temperatur der verschiedenen Schmelzflüsse muss gleichfalls als sehr wechselnd angesehen werden, und der Druck, unter dem sich die Erstarrung vollzieht, ist nicht nur abhängig von der Mächtigkeit der überlagernden Gesteine, sondern wird oft noch in sehr bedeutendem Maasse modificiert durch die gleichzeitige Einwirkung der gebirgsbildenden Prozesse. Die Umbildung der Nebengesteine muss so in ihrer Intensität sehr verschiedenartig sein, wenn auch der hauptsächlichste Grundzug all dieser Metamorphosen derselbe ist, da er durch die Wirkung der Mineralbildner bei hohem Druck und hoher Temperatur bedingt wird. An Stelle der einfachen Hitzwirkung treten kompliziertere Vorgänge, die auf eine moleculare Umlagerung und eine Umkrystallisation des Nebengesteins hinauslaufen.

Im Allgemeinen werden wir zwar einen gewissen Zusammenhang zwischen der Ausdehnung der Contactzonen und der Mächtigkeit des Intrusivgesteins nicht verkennen dürfen, doch ist derselbe weit entfernt davon, wirklich gesetzmässig zu sein. Wir können uns denken, dass eine enorm mächtige Masse, die verhältnismässig arm an Mineralbildnern war und in der Temperatur der Krystallisation schon ziemlich nahe stand, als sie zwischen die Schichten eindrang, in wenig intensiver Weise und nur auf geringe Entfernungen hin contactmetamorphisch verändernd einwirkte, während ein viel weniger umfangreiches Magma, das überladen mit mineralbildenden Agentien in stark überhitztem Zustand emporrang, sehr viel weitergehende Umwandlungen hervorbrachte.

Die Schwierigkeit, die wahre Ausdehnung einer Contactzone zu bemessen, welche zu einem Intrusivgestein von bestimmter Mächtigkeit gehört, wird aber noch bedeutend dadurch erhöht, dass uns im Allgemeinen nur die durch Erosion frei gelegten Teile der Erdoberfläche zugänglich sind. Ein kleiner Putzen, der in seiner oberflächlichen Ausdehnung der Beachtung kaum wert erscheint, kann der äusserste Ausläufer eines mächtigen Stockes sein, welcher in der Tiefe rasch an Mächtigkeit zunimmt, und die weite Entwicklung seiner Contactzone entspricht der Mächtigkeit des in der Tiefe vorhandenen Eruptivgesteins; zumal trifft dies zu, wenn in einem Gebiet sich eine grössere Anzahl solcher kleiner Eruptivkörper scharen; die Erscheinung weist dann jedesmal auf eine mächtigere in der Tiefe vorhandene Schmelzmasse. In anderen Fällen verläuft der Contact der beiden Gesteine wenig geneigt gegen die Horizontale; auf viele Kilometer von dem Eruptivgestein entfernt, beobachtet man fortgesetzt die contactmetamorphischen

Erscheinungen, so dass, nach dem Horizontalschnitt zu urteilen, diese Zone eine ungeheure Mächtigkeit zu haben scheint. Bei dem wenig steilen Einfallen der Grenze kann in der Tiefe, bei einer Entfernung von zehn und fünfzehn Kilometern an der Oberfläche, das Eruptivgestein vielleicht weniger als tausend Meter entfernt sein, und das scheinbar Anomale wird zur gewöhnlichsten Erscheinung. Endlich ist noch der speciell für theoretische Speculationen besonders wichtige Fall zu betrachten, dass nur die Contactgesteine oberflächlich zu sehen sind, während das Eruptivgestein selbst nicht aufgeschlossen ist. Solcher Fälle, welche zur Aufstellung zahlreicher Hypothesen Anlass gegeben haben, kennt die Geschichte der Geologie nicht wenige, und mehrfach wurde später nach langen Controversen durch Tunnelbauten etc. die wahre Ursache der Umwandlung der Gesteine aufgeschlossen.

Für den Grad der contactmetamorphischen Umwandlung eines Gesteins sind nicht allein die von dem Eruptivgestein selbst ausgehenden Factoren massgebend, sondern in ebensolchem Maasse auch die chemische Zusammensetzung und Structur des Nebengesteins. In dieser Beziehung ist allerdings unsere Kenntnis noch recht lückenhaft; wir wissen zwar, dass Gesteine, welche aus sehr feinen Elementen bestehen, wie z. B. die Tonschiefer, um Vieles empfindlicher sind als gröber körnige, wie z. B. die Sandsteine, in denen zumal die gröberen Gemengtheile, die Sandkörner etc. überhaupt nicht verändert werden. Wir beobachten ferner, dass in besonders intensivem Maasse Kalksteine und Mergel der contactmetamorphischen Umwandlung anheimfallen und sehen so charakteristische Unterschiede in der Beschaffenheit des neugebildeten Productes, Unterschiede, die noch deutlicher hervortreten, wenn man auch noch das Verhalten der schon vorher krystallinischen Gesteine neben demjenigen der Trümmergesteine in Betracht zieht.

In letzterer Beziehung wird man im Allgemeinen sagen können, dass, je vollständiger die Uebereinstimmung ist zwischen den Verhältnissen, welche bei der Contactmetamorphose herrschen, und jenen, unter welchen das betreffende Nebengestein zuerst krystallisierte, desto geringer und verschwindender die contactmetamorphische Beeinflussung sein wird. So wird z. B. ein Granit, der von einem zweiten durchbrochen wird, seine Beschaffenheit selbst direkt an der Grenze nicht ändern, und auch die Contactgesteine des ersten werden durch den zweiten kaum modificiert, wenn nicht in den physikalischen Bedingungen bei der Verfestigung beider bedeutende Unterschiede vorhanden waren. Wohl aber wird ein Gabbro oder Diabas, die sich im Contactbereiche eines Granites befinden oder von einem solchen direkt durchbrochen werden,

mannigfache moleculare Umwandlungen erfahren, welche den Habitus der betreffenden Gesteine völlig verdecken können. Die Producte der an Mineralbildnern viel ärmeren basischen Schmelzflüsse erleiden unter dem Einfluss der von dem Granit ausgehenden mineralbildenden Agentien eine mehr oder minder vollkommene moleculare Umlagerung, der Granit dagegen besitzt entsprechend den Bedingungen bei seiner Entstehung ein unter den gegebenen Verhältnissen stabiles Gleichgewicht.

Ein ursprünglich klastisches Gestein kann in mehreren Epochen nach einander Verhältnissen unterliegen, von welchen jedes eine moleculare Umwandlung desselben hervorzurufen im Stande ist, mit der Tendenz, dem Gestein jedesmal die für die augenblicklichen physikalischen Bedingungen stabilste Gleichgewichtslage zu erteilen. Wird z. B. ein das erste Mal unter besonders hohem Druck umkrystallisiertes Gestein später unter normalem Druck einer zweiten Umkrystallisation durch Contactmetamorphose ausgesetzt, so nimmt es die für den letzteren Process stabilste Gleichgewichtslage ein, d. h. die von dem normalen Contactgestein abweichenden Mineralneubildungen des ersten Umkrystallisationsprocesses werden durch den zweiten einfach wieder aufgelöst und zerstört. Und dasselbe gilt mit einigen weiter unten zu erörternden Einschränkungen für die umgekehrte Reihenfolge der umwandelnden Prozesse.

In grossen Zügen sehen wir so ein sehr verschiedenartiges Verhalten verschiedener Gesteine gegenüber den umwandelnden Agentien der Contactmetamorphose; diese Unterschiede wiederholen sich aber, vielleicht in noch intensiverer Weise innerhalb der einzelnen Gruppen selbst, ohne dass wir irgend eine Uebersicht über die chemischen Ursachen dieser Verschiedenheiten gewinnen können. Betrachten wir z. B. die mächtigen, oft so ausserordentlich constant erscheinenden Tonschiefergebiete der älteren fossilführenden Formationen in ihrem Verhalten gegenüber der Contactmetamorphose, so finden wir Unterschiede, wie wir sie bei dem Anblick der in unverändertem Zustand so gleichmässig erscheinenden Gesteine nicht vermutet hätten. Wenn solche Tonschiefercomplexe von Intrusivgesteinen quer durchsetzt werden, so beobachten wir gewöhnlich, dass selbst in nächster Nähe der Grenze das Stadium der Umwandlung der einzelnen Lagen ein höchst verschiedenartiges ist. Schon direct am Contact selbst trifft man neben Schichten, welche das höchste Stadium der Metamorphose erreicht haben und eigentliche Hornfelse geworden sind, solche, die scheinbar auf einer niedrigeren Stufe stehen blieben. Mit den eigentlichen Hornfelsen wechseln mehr schiefrige Bildungen ab, bald als Frucht- oder Garbenschiefer, bald als Chistolithschiefer ausgebildet, und endlich sind auch oft Zwischenlagerungen

vorhanden, welche überhaupt keine Spur einer Umwandlung erkennen lassen. Entfernt man sich weiter von dem Massiv, so ändert sich ganz allmählich das Bild, indem die Hornfelse immer seltener, die schiefrigen Gesteine vorherrschend werden und in den äussersten Ausläufern beobachtet man nur noch einzelne Schichten, die eine Knotenbildung aufweisen. Die althergebrachte Einteilung in drei Zonen, die sog. Höfe der Hornfelse, Knotenglimmerschiefer und Knotentonschiefer, ist somit nur mit starken Einschränkungen richtig.

Betrachten wir die Wirkungsweise der die Contactmetamorphose bewirkenden Agentien etwas näher: die Gesteine erleiden durch die während langer Zeit bei hoher Temperatur und erhöhtem Drucke wirkenden mineralbildenden Agentien eine moleculare Umlagerung, welche darauf hinaus geht, den für die momentanen physikalischen Bedingungen stabilsten Gleichgewichtszustand der einzelnen Componenten herzustellen, wobei im Allgemeinen eine chemische Veränderung nicht vor sich geht, mit Ausnahme davon, dass in einzelnen Fällen Kohlensäure, resp. Wasser ausgetrieben werden.

Die in einem beliebigen klastischen Gestein neben einander liegenden Gemengteile sind nicht nach chemischen Gesetzen, sondern durch Zufall mit einander vereinigt worden. Wenn also Verhältnisse eintreten, bei welchen die chemische Affinität wirksam wird, so muss eine Neugruppierung der einzelnen Molecüle durch gegenseitige Reactionen eintreten. Man wird aber nicht annehmen dürfen, dass der Zustand der Gesteine, in welchem derartige Reactionen vor sich gehen, ein schmelzflüssiger war, dazu sind an zahlreichen Punkten die Complexe, die der Umwandlung anheimfielen, viel zu umfangreich, und auch die Erhaltung der Gesteinsstructur im Grossen und Ganzen, auf welche weiter unten einzugehen sein wird, spricht gegen eine derartige Beschaffenheit. Andererseits aber weisen zahlreiche Beobachtungen darauf hin, dass im Stadium der Umwandlung die Molecüle eine grosse Beweglichkeit besessen haben und nicht nur bei directer gegenseitiger Berührung in Reaction treten konnten, sondern auch die Fähigkeit hatten, innerhalb des sich umbildenden Gesteins auf ziemliche Entfernungen zu wandern. Wie wäre sonst die Erscheinung zu erklären, dass z. B. in contactmetamorphischen Kalken sich vereinzelte grosse Krystalle von Granat, Vesuvian etc. entwickelten, während anfangs ein Gestein vorlag, in dem die tonigen und kieseligen Beimengungen, welche zur Entstehung dieser Mineralien Anlass gaben, in durchaus gleichmässiger Verteilung vorhanden waren. Die das ganze Gestein wie einen Schwamm durchdringenden überhitzten Wasserdämpfe waren es wohl, welche diese Reactionsfähigkeit und Beweglichkeit der einzelnen Bestandteile

des Gesteins vermittelten, ohne dass gleichzeitig das Gestein als solches eine flüssige Beschaffenheit angenommen hätte.

Wo mächtige Eruptivmassen innerhalb von Schichtgesteinen auftreten, kann man fast überall die charakteristische Beobachtung machen, dass nicht ein einfaches, passives Hineingepresstwerden, wie man heutzutage so gern annimmt, sondern vielmehr ein recht actives Eindringen und Durchbrechen stattfand, welches in der Struktur des Nebengesteins zahlreiche Kennzeichen hinterlassen hat. Die dem Contact zunächst liegenden Schichtgesteine sind in mannigfaltigster Weise gestört und durcheinander geknetet, Faltung und Fältelung sind hier in intensiver Weise ausgebildet, Erscheinungen, die sich mit der Entfernung vom vulcanischen Herd mehr und mehr verlieren und in den äussersten Contactzonen nur noch in der feinsten Fältelung der Schieferflächen zum Ausdruck kommen. Im Allgemeinen kann man bei der eingehenden Untersuchung solcher auf das Mannigfaltigste in einander gepresster Contactzonen auch in den vollkommen umkrystallisierten Gesteinen noch die ursprüngliche Schichtung deutlich selbst unter dem Mikroskop verfolgen, indem die Anordnung einzelner bei der Contactmetamorphose neu gebildeter Gemengtheile sich genau nach dem Verlauf dieser Schichtung richtet, während die übrigen Bestandteile, oft weitaus die Hauptmasse des Contactgesteins bildend, eine durchaus beliebige, von der ursprünglichen Schichtung des Gesteins in keiner Weise beeinflusste Structur besitzen. So trifft man nicht selten, dass der ursprüngliche Gehalt eines Schichtgesteins an kohligter resp. bituminöser Substanz nach der vollständigen Umkrystallisation als Graphit erhalten blieb, der den ursprünglichen Schichtflächen parallel eingelagert ist. Beobachtet man einen Querschnitt durch ein solches Gestein, so sieht man, wie der feinverteilte Graphit den ganzen Schriff in gewundenen Zügen durchsetzt, ohne Rücksicht auf die verschiedenen sonstigen Mineralkörner, welche durch die Contactmetamorphose in dem Gestein zur Ausbildung gekommen sind. Die neugebildeten Individuen von Quarz, Granat, Feldspat, Glimmer, Turmalin etc., welche z. T. in ziemlicher Grösse sich entwickelt haben und die ganz beliebige Orientierung besitzen, werden von bandförmig angeordneten Einschlüssen der schwarzen Substanz durchsetzt, welche in mannigfachen Windungen und, ohne durch die verschiedene Orientierung der einzelnen Körner gestört zu werden, durch dieselben hindurchgehen, wobei hin und wieder eine schmale, einschlussfreie Randzone die einzelnen Körner gegen einander abgrenzt. Ganz ähnliche Erscheinungen beobachtet man in anderen Contactgesteinen, die reich an Sillimanit sind. Auch die faserigen Aggregate dieses durch die Contactmetamorphose

neugebildeten Minerals lagern dann der ursprünglichen Gesteins-schichtung durchaus parallel und finden sich in der oben geschilderten Anordnung in allen übrigen Gemengteilen des umkrystallisierten Gesteins eingeschlossen. Manchmal sind es kleine Quarzkörnchen, vielleicht Reste ursprünglicher Sandkörner, die in den grösseren neugebildeten Gesteinscomponenten dieselbe Anordnung aufweisen. Keine Structur dürfte so bezeichnend sein für contactmetamorphische Gesteine, als diese bandartige Anordnung der Einschlüsse, welche man nach ihrem gewundenen Verlauf als helicitische Structur bezeichnen kann.

Die Zusammenpressung und Faltung der dem Contact zunächst gelegenen Schichtgesteine lässt sich im Felde fast stets in grossartigem Masse studieren; wenn wir aber dieselben Gesteine im Dünnschliff genauer untersuchen, so machen wir gar nicht selten die Beobachtung, dass jede Spur einer Biegung und Zertrümmerung der einzelnen Bestandteile fehlt, und dass bei der mikroskopischen Betrachtung die einzige Andeutung einer stattgehabten Faltung in der Anordnung der Einschlüsse zu finden ist. Aus solchen Beobachtungen kann man stets mit Sicherheit den Schluss ziehen, dass die Faltung der Gesteine vor ihrer Umkrystallisation abgeschlossen war, und dass sie erst in dem zusammengefalteten Zustande, in welchem sie heute vorliegen, ihre krystallinische Beschaffenheit angenommen haben. Dann kann man doch sicher nicht den allgemeinen Gebirgsdruck als Ursache der Umkrystallisation des Gesteins ansehen, da man nicht gut annehmen kann, dass bei einer sog. dynamometamorphischen Umbildung der Gesteine Faltung und Krystallisation zeitlich getrennte Erscheinungen sind. Ist der Gebirgsdruck gleichzeitig die Ursache der Gesteinsfaltung und das krystallisierende Agens gewesen, so muss die mechanische Umformung auch während der Krystallisation wirksam gewesen sein; es müssen Verschiebungen in dem sich neu bildenden Mineralaggregat entstanden sein, die sich im Dünnschliff in irgend einer mechanischen Beeinflussung der neugebildeten Individuen zu erkennen geben.

Während man so in vielen Fällen durch den Mangel mechanischer Structures in solchen umgewandelten Gesteinen zu dem Schlusse berechtigt ist, dass dieselben nicht durch die Wirkung dynamischer Agentien ihre heutige Beschaffenheit erlangt haben. Fälle, wie sie auch in den sog. „krystallinischen Schiefer“ der Centralalpen gar nicht selten sind, so liegen an anderen Punkten die Verhältnisse complicierter. So z. B. wenn die im Obigen als typische Contactstructur charakterisierte Anordnung von Einschlüssen in Gesteinen auftritt, die ausserdem intensive Zertrümmerungen erfahren haben. Dann steht es natür-

lich ausser Zweifel, dass die mechanische Umformung der Gesteine während und nach ihrer Krystallisation fort dauerte, und dass man dann nicht eben so sicher wie im vorherigen Falle die Wirkung der Dynamometamorphose von vornherein als ausgeschlossen bezeichnen kann. Eine eingehende geologische und mikroskopisch-petrographische Untersuchung wird aber auch in solchen Fällen die beiden verschiedenen Prozesse der Gesteinsumbildung auseinanderhalten lassen.

Die Erscheinung, dass so die feinsten Details der ursprünglichen Structur in dem Contactgestein erhalten sind, macht es vollständig unwahrscheinlich, dass die contactmetamorphischen Prozesse eine Art Umschmelzung des Gesteins darstellen, denn dabei müssten doch wohl die Grenzen der in einander gekneteten Schichten unscharf werden und eine gegenseitige Vermischung der sich so innig berührenden Gesteine eintreten. Auch die Erhaltung von deutlich erkennbaren Fossilresten, welche öfters in den rein krystallinisch gewordenen Contactgesteinen noch vorhanden sind, weist darauf hin, dass man eine Schmelzung oder auch nur eine Erweichung des Gesteins nicht annehmen darf. Auch eine weitere Erscheinung in der mikroskopischen Structur der Contactgesteine macht eine geringere Beweglichkeit der Bestandteile wahrscheinlich, als dies in einer, wenn auch nur zähflüssigen Masse der Fall wäre. Die neugebildeten Mineralien sind stets besonders reich an Einschlüssen, so dass sie häufig das Aussehen eines Schwammes haben, dessen Hohlräume von rundlichen, meist geradezu eiförmigen Einschlüssen aller möglichen anderen Mineralien erfüllt sind. Die mineralbildenden Agentien, welche das Gestein durchtränkten und die Ursache der molecularen Beweglichkeit darstellen, konnten nur die an jedem einzelnen Punkt vorhandenen Substanzen in gegenseitige Reaction bringen, so dass zwar aus den das Gestein vorherrschend zusammensetzenden Bestandteilen grössere Individuen von Mineralien entstanden, die aber zahlreiche fremde durch denselben Process krystallisierende Individuen umschliessen mussten, welche sich eben zufällig in ihrem Bildungsbereiche befanden. Eine Ausnahme von dieser Regel bilden nur die körnigen Kalke und Dolomite, in welchen die Beweglichkeit der dem Carbonat beigemengten Substanzen eine bedeutendere gewesen sein muss, wie die Entstehung der vereinzelt, oft sehr grossen Individuen von Contactmineralien in denselben beweist, welche nur als Concentrationen aus grösserem Umkreis angesehen werden können. In diesen Gesteinen ist die Durchwachsung der einzelnen Gemengtheile, der hohe Gehalt an Einschlüssen, wie wir sie in anderen Gesteinen beobachten, nur ausnahmsweise vorhanden, ebenso wie in denselben Andeutungen von Schichtung etc. zu

fehlen pflegen. Ferner trifft man in den vorherrschend aus Silicaten bestehenden Contactgesteinen nur einzelne Mineralien, denen auch sonst eine hohe Krystallisationsfähigkeit eigen ist, wie den Granat oder den Staurolith in einigermaßen gut ausgebildeten Krystallen, während im Uebrigen meist gerundete Formen vorherrschen, welche ein eigentümliches Aussehen der contactmetamorphen Gesteine im Dünnschliff bedingen, das man als Pflasterstructur bezeichnet hat. In den umkrystallisierten Kalken dagegen sind die fremden Beimengungen stets mehr oder minder gut krystallographisch begrenzt, wenn auch im Allgemeinen in bezeichnender Weise die Kanten derselben gerundet, die Flächen mit zahlreichen napfförmigen Vertiefungen versehen sind, welche diese Krystalle wie angeschmolzen erscheinen lassen. All diese Erscheinungen weisen darauf hin, dass in den Carbonatgesteinen in der Periode der contactmetamorphen Umwandlung eine grössere Beweglichkeit vorhanden war, als in den vorherrschend aus Silicaten bestehenden Gesteinen.

Auf zwei weitere Erscheinungen, die wohl allgemein als charakteristische Kennzeichen contactmetamorpher Entstehung gelten, soll hier noch hingewiesen werden, es sind dies die Knotenschiefer und die Garbenschiefer. Erstere zeigen bekanntlich dunkle, meist rundliche Flecken, in einer etwas lichter Grundmasse; sie finden sich ausschliesslich in solchen Gebieten, in welchen die Contactmetamorphose zu reichlicher Entwicklung von Andalusit geführt hat. U. d. M. sind sie meist wenig gut zu deuten, doch weisen Uebergänge in besser charakterisierte Vorkommnisse darauf hin, dass in zahlreichen Fällen rundliche, von Schiefergrundmasse und Graphit (resp. kohligter Substanz?) erfüllte Individuen von Andalusit, seltener vielleicht auch von Cordierit die Ursache der Knotenbildung darstellen, die aber durch spätere chemisch-geologische Vorgänge wieder zerstört und zu schuppigen Aggregaten glimmerartiger Mineralien geworden sind. Die Garben werden wohl ausschliesslich von Hornblendemineralien hervorgerufen, die sich oft in den dünnsten, seltener auch etwas dickeren aber ziemlich breiten, an den Enden ausgefaserten Büscheln auf die Schichtfläche legen und so die eigenartige Erscheinung hervorrufen.

Bei der contactmetamorphischen Umwandlung treten im Allgemeinen nur die feinsten Gesteinsgemengteile in gegenseitige Reaction, einigermaßen gröbere widerstehen meist auf das Vollständigste, und wir finden daher in denjenigen Contactgesteinen, die aus Trümmern hervorgingen, häufig noch Nester der ursprünglichen Trümmerstructur in einzelnen Sandkörnern, Geröll etc. enthalten. Nur in den kalkreichen Gesteinen scheint

die Veränderung eine vollkommene zu sein, so dass hier solche Reste kaum zur Beobachtung kommen. Auch die Veränderungen, welche basische Eruptivgesteine im Granitcontact erleiden, sind meist wenig abhängig von der Korngrösse, und die grösseren Einsprenglinge der Porphyre pflegen im Allgemeinen ebenso verändert zu sein, wie die Grundmasse des Gesteins selbst.

Gesteine, die ausschliesslich oder fast ausschliesslich aus sehr feinkörnigem Quarz zusammengesetzt sind, werden durch die Contactmetamorphose kaum merklich beeinflusst; eine geringe Vergrösserung des Korns, die aber erst bei sehr genauer Beobachtung erkennbar ist, pflegt die einzige Veränderung zu sein. Handelt es sich nicht um dichte Quarzite, sondern um kieselige Sandsteine, so sieht man, selbst in der nächsten Nähe des Contactes, keine Spur einer Einwirkung mehr, solche Gesteine erweisen sich als völlig unempfindlich. In Sandsteinen mit tonigem, mergeligem etc. Cement beobachtet man ein vollkommene Umkrystallisation des letzteren, während die grösseren Quarzkörner meist ganz unverändert zurückbleiben. Je mehr dann das Bindemittel vorwiegt, desto intensiver erscheint die contactmetamorphe Veränderung des Gesteins.

Tonschiefer liefern da, wo sie am intensivsten verändert sind, meist recht dichte, splittrig brechende Gesteine, welche zu dem Namen Hornfels Anlass gegeben haben; makroskopisch sind in diesen die einzelnen Componenten meist nicht zu erkennen. Dagegen ergeben reine Kalke unter denselben Verhältnissen sehr grobkörnige bis grossspätige Aggregate. Unreinheiten, welche solche Gesteine enthielten, concentrieren sich in der schon mehrmals erwähnten Weise zu einzelnen grösseren Krystallen von Contactmineralien. Herrschen die fremden Bestandteile vor, so pflegt im Allgemeinen die Struktur weniger grobkörnig zu sein, und schliesslich entstehen aus den Mergeln und verwandten Gesteinen wiederum mehr oder minder dichte Aggregate von Silikaten.

Die Ausdehnung der contactmetamorphisch umgewandelten Zone ist, wie wir oben gesehen haben, abhängig in erster Linie von der Mächtigkeit des Eruptivstockes und der Menge der von diesem ausgestossenen Mineralbildner, sie wird aber auch in hohem Masse beeinflusst durch die Beschaffenheit des Nebengesteins selbst, welcher der Umwandlung anheimfällt. So wird man an den wenig empfindlichen Sandsteinen oft keine Spur einer Umwandlung mehr bemerken unter Verhältnissen, unter denen Tonschiefer oder gar Kalksteine noch eine krystalline Beschaffenheit annehmen, ja sogar die Erscheinung ist beobachtet, dass zunächst am Granitcontact einige hundert Meter Sandstein nicht verändert erscheinen, während jenseits derselben befindliche Tonschiefer eine intensive Veränderung

aufweisen. Die Sandsteine, in welchen die Möglichkeit zu Mineralbildungen nicht geboten war, liessen die Mineralbildner hindurchziehen, ohne eine Veränderung durch dieselben zu erleiden, während die einige hundert Meter weiter entfernten Tonschiefer noch weitgehend umgewandelt wurden. Aber nicht nur zwischen Gesteinen, die so weite Unterschiede aufweisen wie Tonschiefer und Sandstein, ist in dem Verhalten gegen die contactmetamorphosierenden Agentien eine grosse Verschiedenheit vorhanden, auch Gesteine, die äusserlich sehr ähnlich sind, können eine sehr verschiedene Fähigkeit zur Umkrystallisation haben.

Es wurde schon erwähnt, dass nicht selten schon in den innersten Contactzonen neben eigentlichen Hornfelsen so gut wie unveränderte Tonschiefer vorhanden sind, und auch da, wo die verschiedenen Stufen der Umbildung mehr in regelmässigen „Höfen“ um das Eruptivgestein auftreten, ist die Breite derselben an verschiedenen Stellen äusserst verschieden. Schliesslich macht man die Beobachtung, dass an einzelnen Stellen, ja selbst auf einer Seite eines solchen Massivs jede Spur einer Umwandlung fehlt, während auf einer anderen eine ungemein weitgehende Veränderung stattgefunden hat.

Da die contactmetamorphische Umwandlung abhängig ist von dem Maasse der Durchtränkung eines Gesteins mit den mineralbildenden Agentien, so werden im Allgemeinen dünnschiefrige Gesteine, die auf ihren Schichtflächen zahlreiche Wege für diese Agentien darbieten, auf welchen sie sich leicht fortbewegen können, eine viel intensivere und auf weitere Entfernung fühlbare Veränderung erleiden als dickbankige. Und die Umbildungsfähigkeit wird noch bedeutend gesteigert, wenn durch die Einwirkung dynamischer Prozesse, sei es im Gefolge der Eruption selbst, sei es durch anderweitige tektonische Störungen, das Gestein zermalmt und in seinem innersten Gefüge zerstört ist. Wir werden also von vornherein in dynamisch stark beeinflussten Gebieten eine grössere Ausdehnung der Contactzone vermuten dürfen, als in solchen, in denen die Störung nur geringfügig ist, vorausgesetzt natürlich, dass die dynamischen Prozesse älter oder gleichaltrig sind mit den vulcanischen.

Wenn Schiefergesteine von Intrusivstöcken quer durchsetzt werden, so ist das Heraufdringen der schmelzflüssigen Massen von einer starken Auflockerung der Schichtenfugen der Schiefer begleitet, und die Reagentien, welche das erstarrende Magma abgiebt, können sich auf diesen rasch und auf weite Entfernung verbreiten und bewirken eine um so intensivere und gleichmässige Umwandlung des Nebengesteines, je dünnschiefriger dasselbe von Anfang an war. Durchsetzt eine Intrusivmasse ein Schiefergestein

in ziemlich verticaler Richtung, so pflegt diese Auflockerung nicht in so weite Entfernung verfolgbar zu sein, als wenn der Durchbruch zur Schichtung geneigt erfolgte. In letzterem Fall beobachten wir besonders im Hangenden, das gleichzeitig durch die Eruptivmasse gehoben wurde, die vollkommenste Zerrüttung, und die contactmetamorphische Umwandlung pflegt unter solchen Verhältnissen am intensivsten zu sein. Im Gegensatz dazu sind die Veränderungen im schwebenden Dach einer lagerförmigen Eruptivmasse intensiv wie extensiv ziemlich beschränkt; quer zur Schichtung ist die Fortbewegung der Agentien äusserst erschwert, und wenn auch in solchen Fällen die Schichten durchaus aufgelockert sind, so treffen wir doch nur selten in dieser Lagerung wohlausgebildete Contactgesteine in weiterem Umkreis. Nur wenn die Hebung mit einer Zerstückelung der Schichten Hand in Hand geht, und besonders wenn die einzelnen losgerissenen, mehr oder minder bedeutenden Schieferschollen in das schmelzflüssige Magma selbst hineinsinken, welches dann die Schieferfetzen rings umhüllt, dann sind die für die Contactmetamorphose günstigsten Verhältnisse gegeben. In feinsten Adern und breiteren Gängen dringt der Schmelzfluss in sein zerborstenes Dach, wobei die am leichtesten beweglichen Teile desselben vor allem die Klüfte und Klaffen durchsetzen. Im Allgemeinen sind dies an Kieselsäure und Alkalien besonders reiche Spaltungsproducte, die auch immer, wie die Erfahrung lehrt, besonders mit mineralbildenden Agentien gesättigt sind, denen sie wohl ihre leichtere Beweglichkeit verdanken. In solchen, durch Hineinblättern von Schiefermaterial in Eruptivgesteine charakterisierten Contactzonen beobachtet man eine verwirrende Mannigfaltigkeit der Erscheinungen, indem nicht nur eine intensive mechanische Mischung von Eruptiv- und Schiefermaterial einzutreten pflegt, sondern gleichzeitig sich zahlreiche chemische Reactionen einstellen, die sich z. T. als einfache magmatische Spaltungen charakterisieren, z. T. als durch Auflösen des Schiefermaterials im Schmelzfluss eingeleitete Prozesse darstellen, die zu den eigenartigsten Producten führen können.

Die Spaltungsprocesse selbst haben, wie schon erwähnt wurde, in solchen injicierten Zonen die Eigentümlichkeit, zu einer immer bedeutenderen Anreicherung von Kieselsäure und Alkalien zu führen. Die Durchaderung durch Aplite, welche sich als Apophysen normaler Granit darstellen, ist die gewöhnliche Erscheinung. Aber in höchstem Grade wechselt in diesen das Mengenverhältnis der Mineralien, indem bald Bestandteile hinzukommen, die nur durch Auflösung von Schiefermaterial und Wiederauskrystallisation aus dem Schmelzfluss erklärt werden können, bald normale Bestandteile in mehr oder minder vollkommener Weise verloren

gehen. So lässt sich in den aufgeblättern Randzonen eines Granitmassivs meist keine scharfe Grenze ziehen zwischen den noch ziemlich normalen aplitischen Apophysen einerseits und Quarzadern und Schnüren andererseits, die nur noch ganz accessorisch Feldspat oder Muskowit führen, und schliesslich treten Aggregate von Quarz mit Zoisit, mit Andalusit etc. an ihre Stelle, welche eben so vollständig durch alle möglichen Uebergänge mit dem Granit selbst verbunden sind.

Die Individualität der beiden Gesteine, die so in inniger Durchwachsung mit einander auftreten, ist manchmal ziemlich vollkommen gewahrt: die Schieferblätter mit der typischen Zusammensetzung und Structur eines Contactgesteins grenzen scharf ab an den Eruptivbändern, deren mineralische und structuelle Beschaffenheit einen durchaus abweichenden Charakter aufweist. In andern Fällen aber und zwar hauptsächlich da, wo die Aufblätterung zur Loslösung dünnster Schieferpartien geführt hat, kann das Schiefermaterial von dem Schmelzfluss vollständig resorbiert werden, wodurch sich nicht nur die chemische Zusammensetzung des letzteren, sondern gleichzeitig auch die Gesetze seiner Verfestigung ändern. Es treten nun die mannigfachsten Diffusionsprocesse auf, welche das durch die gelösten Bestandmassen gestörte Gleichgewicht wieder herzustellen bemüht sind. Das schliessliche Resultat einer derartigen Typenvermischung pflegt nicht ein einheitliches Gestein von etwa intermediärer Zusammensetzung zu sein, sondern ein gebändertes, schlieriges Gebilde von oft recht complicierter Zusammensetzung, Vorkommnisse, welche dem nicht petrographisch durchgebildeten Geologen schon viel Kopfzerbrechen gemacht haben.

Die Resorption des Nebengesteins durch schmelzflüssiges Magma, welche in besonders bedeutendem Maasse in solchen aufgeblättern Zonen vorkommen kann, findet sich in andern Fällen nicht in grösserer Ausdehnung und hat vielleicht nur noch in einem einzigen weiteren Falle wirklich geologische Bedeutung. Von der französischen Schule wurde schon lange die Beobachtung gemacht, dass am Contact granito-dioritischer, d. h. an Alkalien und Kieselsäure reicher Gesteine mit Kalksteinen sich in ersteren endogene Modificationen einstellen, welche man am normalen Contact mit Schiefem vergebens sucht. Sowohl gegen die Einschlüsse als auch an der Grenze gegen das kalkreiche Nebengestein beobachtet man die allmähliche Umwandlung des granito-dioritischen in ein gabbro-peridotitisches Magma, und schliesslich bei weitest gehender Modification ist an Stelle des Granites eine Randfacies von Peridotit getreten. Diese Erscheinung wird von den Franzosen als ein Resultat der einfachen Resorption des Nebengesteins angesehen und als directer Beweis gegen die Theorie der magmatischen Spaltungs-

vorgänge betrachtet, welche vor allem in Deutschland fast allgemein angenommen ist. Wäre die deutsche Anschauung richtig, so wird von MICHEL-LÉVY und seinen Anhängern ausgeführt, so dürfte doch wohl die Erscheinung der innern Zerspaltung des Schmelzflusses nicht abhängig sein von der chemischen Zusammensetzung des Nebengesteins, sie müsste neben Schieferen ebenso eintreten wie neben Kalksteinen, da sie eben ein rein physikalisches Phänomen darstellt, und die physikalischen Bedingungen der Verfestigung doch wohl in beiden Fällen nicht als principiell verschieden angesehen werden dürfen.

Doch scheint diese Beweisführung durchaus nicht einwandfrei zu sein. In erster Linie ist es absolut unverständlich, wie ein granitisches Magma, also ein an Alkalien reicher, an Magnesia äusserst armer Schmelzfluss durch die einfache Auflösung kalkreicher Gesteine in ein peridotitisches Magma übergeht, also seine Alkalien verliert und zu einem Magnesiasilicatschmelzfluss wird. Da müssen compliciertere Verhältnisse mitspielen, die man vielleicht am besten in folgender Weise deutet. Jede gemischte Lösung, wie sie ein derartiges Magma darstellt, hat unter bestimmten physikalischen Bedingungen eine Reihe von Gleichgewichtszuständen, welche durch bestimmte Mengenverhältnisse der in derselben vorhandenen Salze bedingt sind. Ist ein solcher Gleichgewichtszustand nicht vorhanden oder wird derselbe durch Resorption weiterer Salze gestört, so beginnen Diffusionsströmungen in der Lösung einzusetzen, welche an jeder einzelnen Stelle das Gleichgewicht wieder herzustellen bemüht sind. Wird also z. B. ein Tonschiefer von einem granitischem Schmelzfluss gelöst, so ist, bei der Aehnlichkeit in der chemischen Zusammensetzung beider die Störung im Gleichgewicht nur eine geringfügige und die Diffusion gleicht die Unterschiede ohne tiefeingreifende Modification der Zusammensetzung wieder aus. War das Gelöste aber ein Kalkstein, so ist local durch die Auflösung ein Schmelzfluss entstanden, dessen Zusammensetzung sehr weit von irgend einem Gleichgewichtszustand abweicht. Die jetzt eintretenden Strömungen bringen eine weitgehende Aenderung der Zusammensetzung hervor. Der durch das an Kieselsäure arme Gestein, welches aufgelöst wurde, bedeutend herabgesetzte Gehalt an Kieselsäure in den Randzonen bedingt hier eine bedeutende Zufuhr von Magnesia aus der Hauptmasse des Schmelzflusses, mit welcher eine rasche Abfuhr von Alkalien, Tonerde und Kalk in entgegengesetzter Richtung Hand in Hand geht, da unter den gegebenen Verhältnissen allen Beobachtungen nach bei so niederem Kieselsäuregehalt nur ein von Alkalien freier, an Kalk mässig reicher Magnesiasilicatschmelzfluss einen Gleichgewichtszustand darstellt. Die aus der Randzone weggeführten Bestandteile

diffundieren in dem Eruptivkörper in der Weise, dass Alkalien und vielleicht auch Tonerde am weitesten sich entfernen, während zunächst an Kalk reichere, an Kieselsäure immer noch ziemlich arme Gesteine entstehen. Würde einem derartigen, durch Resorption veränderten Magma hinreichend Zeit geboten sein, um vor beginnender Erstarrung ein vollkommen stabiles Gleichgewicht zu erreichen, so müsste schliesslich eine kontinuierliche Reihe von Gesteinen entstehen, die durchaus den Typus der normalen Tiefengesteine besitzen, beginnend mit basischen, gabbro-peridotitischen Gesteinen auf der einen Seite bis zum normalen Granit auf der andern. Dieser vollkommene Gleichgewichtszustand wird nun allerdings kaum jemals erreicht, und die in solchen Contactzonen auftretenden Gesteine zeigen daher meist noch mannigfaltige Abweichungen in Zusammensetzung und Structur gegenüber den normalen Gesteinen, welchen sie am nächsten stehen. Jedenfalls aber ist die Erscheinung dieser durch Resorption hervorgebrachten endogenen Modificationen viel eher ein Beweis für als gegen die Theorie der magmatischen Spaltung.

Um wieder auf die Erscheinungen zurückzukommen, welche in dem durch Contactmetamorphose veränderten Nebengestein auftreten, so haben wir bisher eine Reihe von Factoren betrachtet, welche die Wirkungsweise und die Intensität der Umbildung beeinflussen. Neben den in erster Linie in Frage kommenden Agentien, der Höhe der Temperatur, welche der Schmelzfluss besass, als er an den Ort seiner Verfestigung kam, der Quantität der Gase und Dämpfe, welche in ihm gelöst waren und bei der Verfestigung abgegeben werden konnten, der Zeitdauer, welche die Abkühlung in Anspruch nahm, haben wir ebenfalls sehr wichtige Factoren für die Ausdehnung wie für die Intensität der Umwandlung in der Beschaffenheit des Nebengesteins kennen gelernt, in dessen chemischer Zusammensetzung und Structur und nicht zum Mindesten in seinen geologischen Lagerungsverhältnisse gegenüber dem Eruptivgestein.

Von besonderer Wichtigkeit für die Gesamtheit der hier zu besprechenden Erscheinungen ist aber auch der Druck, der während der Verfestigung des Eruptivgesteins herrschte. Wo Gesteine in der Tiefe der Erde erstarrt sind, vollzog sich dieser Process unter dem Drucke der darüber lagernden Teile unserer Erdkruste. Dieser Druck ist zunächst die Ursache gewesen, dass der aus der Tiefe empordringende Schmelzfluss seine mineralbildenden Agentien nicht mit einem Schlage verlor, sondern sie zurückhalten konnte, bis durch allmähliche Erniederung der Temperatur in der Hauptsache wasserfreie Mineralien aus dem wasserhaltigen Schmelzfluss krystallisierten und nun während lange andauernder Perioden die überhitzten Gase in die Umgebung diffundierten, um dort ihre umbildende und

neugestaltende Tätigkeit auszuüben. Die beginnende Krystallisation musste im Allgemeinen vergrößernd auf das Volumen des eingeschlossenen Magmas, also verstärkend auf den von demselben ausgeübten Druck wirken. Allerdings wohl nicht in der in der STRÜBEL'schen Theorie angenommenen Weise einer Ausdehnung des Schmelzflusses durch die Abkühlung, sondern vielmehr dadurch, dass bei fortschreitender Krystallisation die im Magma gelösten Gase mehr und mehr unlöslich werden. Die dadurch hervorbrachte erhöhte Spannung kann wieder durch partielle Eruptionen oder aber durch eine Diffusion der Gase in das Nebengestein aufgelöst werden.

Dieser Druck ist im Allgemeinen ziemlich wechselnd, da er abhängig ist von der Tiefe, in der die Krystallisation vor sich ging, aber es können noch andere Ursachen hinzukommen, die die Spannung in viel bedeutenderem Masse beeinflussen. Und in dieser Beziehung die Wichtigste ist die Einwirkung gebirgsbildender Prozesse, welche während der Verfestigung eines eruptiven Magmas in Tätigkeit sind. Dann ist nicht nur der Druck der hangenden Gesteinsschichten in Rechnung zu setzen, sondern neben diesem der von der Gebirgsfaltung ausgeübte Seitendruck, dessen ungeheure Wirkungsfähigkeit wir in unseren Faltengebirgen allenthalben verfolgen können. Man hat zwar in der modernen Geologie sich gewöhnt, Gebirgsbildung und vulcanische Tätigkeit als zwei streng getrennte geologische Erscheinungen anzusehen, aber der innige Zusammenhang zwischen beiden wird schon durch die eine Beobachtung nahegelegt, dass die Axe der wichtigsten Faltengebirge aus eruptivem Material besteht. Die Biegung der Schichten erschüttert den Zusammenhang derselben und öffnet den in der Tiefe vorhandenen Schmelzmassen die Wege, auf welchen sie empordringen im Stande sind. Die Faltungsprocesse üben auf diese schmelzflüssigen Massen einen enormen Druck aus und pressen sie an solchen Stellen zwischen die Schichten ein, an denen dem Aufdringen am wenigsten Widerstand entgegengesetzt wird. Die empordringenden Massen, von deren ungemein bedeutender Ausdehnung wir uns überall in den Centralalpen überzeugen können, wurden zu wichtigen Factoren für die Gebirgsbildung selbst, indem sie, zwischen die Schichten eindringend, diese in ungeheurem Masse auseinanderdrängten und zusammenschoben und so dem ganzen Gebilde einen eigenartigen Charakter verliehen. Das Empordringen der Eruptivmassen vollzog sich in solchen Gebieten wohl kaum in Form plötzlicher und mächtiger Intrusionen, sondern entsprechend der durch Perioden sich fortsetzenden Wirkung der Gebirgsfaltung als ein lange andauerndes Nachschieben flüssigen Materials, welches in die unter dem Druck der Gebirgsfaltung

selbst stehenden schwächeren Stellen durch den noch viel bedeutenderen Druck eingepresst wurde, unter welchem die schmelzflüssigen Massen der Tiefe während dieser grossartigen Faltungsprocesse standen. Hier bei diesen mit der Gebirgsfaltung im Zusammenhang stehenden Gesteinsintrusionen handelt es sich sicher nicht um Ergüsse in vorher bestehende mächtige Hohlräume, die das schmelzflüssige Material einfach ausfüllte, sondern vielmehr um ein Eindringen an solchen Stellen, von welchen eben der Zusammenhang der Schichten gelockert war, und an denen sich das eindringende Magma, aus der Tiefe emporgepresst, selbst erst den Raum schaffen musste, an welchem es zur Ruhe kam. Die vulcanische Tätigkeit, die zur Entstehung der Granitmassive der Centralalpen z. B. führte, war eine von den allgemeinen Vorstellungen über vulcanische Phänomene weit abweichende; sie wirkte während ganzer geologischer Perioden andauernd, oft unterbrochen, wenn ein Stillstand in der Gebirgsbildung selbst eintrat, und wieder anschwellend, wenn der Druck gegen die Tiefe zunahm. Aber in allen Stadien der Entstehung befand sich das schmelzflüssige Material unter einem enormen Druck, welcher den normalen Druck bei der Bildung der Tiefengesteine um ein Vielfaches überragte. Und diese bedeutende Erhöhung des Druckes musste eine in hohem Masse modificierende Wirkung ausüben auf das schliessliche Erstarrungsproduct selbst wie auf die contactmetamorphische Umwandlung, welche das Nebengestein erlitt. Als ich zum ersten Male auf die bis dahin nicht berücksichtigte Möglichkeit hinwies, dass dem Gebirgsdruck während der Gesteinsverfestigung ein viel höheres Maass von Wirksamkeit zukomme als er nach derselben auszuüben im Stande ist, und ich diese unter eigenartigen Verhältnissen zu Stande kommende Gesteinsverfestigung mit dem Namen der „Piëzokrystallisation“ bezeichnete, wurde mir in erster Linie der Einwand entgegengestellt, dass die Verfestigung eines selbst mächtigen Eruptivkörpers im Verhältnis zu der äusserst langsam wirkenden Faltung der Gebirge nur als flüchtige Episode anzusehen sei, und dass die Möglichkeit nicht denkbar wäre, dass sich während dieser kurzen Spanne Zeit ein derartiger Druck concentriere, wie ihn meine Anschauung voraussetzte. Ich glaube, meine oben gegebenen Auseinandersetzungen machen eine weitere Widerlegung dieses Einwandes überflüssig, der sich noch dazu auf durch nichts beweisbare Hypothesen stützt, denn über die Dauer der gebirgsbildenden Processe wissen wir sicher wenig genug, jedenfalls aber gar nichts über die Zeit, welche zur Verfestigung einer Intrusivmasse notwendig ist, deren Querschnitt Hunderte, ja Tausende von Quadratkilometern umfasst.

Die Einwirkung der gebirgsbildenden Processe wird sich auf

die hier in Betracht kommenden Verhältnisse in mehrfacher Weise äussern und zwar quantitativ sowohl als qualitativ. Die Schichtgesteine, welche der Gebirgsklappung unterliegen, werden in ihrem innersten Gefüge erschüttert, wodurch eine besonders weitgehende Durchtränkung derselben mit den flüchtigen Agentien ermöglicht wird, die von dem vulcanischen Herd ausgehen. Wenn dann dazu noch die Erscheinung tritt, dass es sich nicht um einen gewaltigen Massenerguss handelt, sondern vielmehr um ein langsames, grosse Zeitläufte in Anspruch nehmendes Eingepresstwerden, so dass während dessen fortgesetzt aus dem Reservoir der Tiefe neues glutflüssiges Material empordrang, das von Neuem Ladungen gasförmiger Substanzen von Neuem hohe Temperaturgrade mit sich brachte, so wird man doch wohl hier eine besonders weitgehende Einwirkung auf das Nebengestein von vorn herein voraussetzen müssen. Ganz in Uebereinstimmung mit diesen Auseinandersetzungen beobachten wir rein körnig ausgebildete Apophysen unserer centralalpinen Granitmassive noch in Entfernungen vom Contact in den Schieferen, wie sie sonst kaum irgendwo auftreten dürften. Ganz durchaderte Partien von mehreren Kilometern Breite sind an einzelnen Stellen nachgewiesen, und die äussersten Ausläufer sind noch bei zehn und fünfzehn Kilometern Entfernung nicht allzu selten. Wir dürfen somit unter diesen Verhältnissen, welche ich als Piëzocontactmetamorphose bezeichne, ungewöhnlich breit entwickelte Contactzonen von vornherein erwarten. Aber ebenso wohl wird auch die Qualität des durch Contactmetamorphose beeinflussten Gesteins eine Veränderung erleiden, wenn die umwandelnden Agentien unter dem hohen Drucke wirksam waren. Wir müssen bei jeder Krystallisation, welche unter besonders erhöhten Druckverhältnissen stattfindet, hauptsächlich zwei Erscheinungen voraussetzen, welche dem normalen Zustand gegenüber Ausnahmen bedeuten. In erster Linie müssen sich solche Moleculargruppen besonders leicht bilden, die das unter den gegebenen chemischen Verhältnissen höchste specifische Gewicht haben, d. h. das kleinste Volumen einnehmen. Die unter hohem Druck krystallisierende Substanz wird die Tendenz haben, ein möglichst kleines Volumen anzunehmen. Andernteils finden wir, dass der Druck die in dem Schmelzfluss gelösten gasförmigen Substanzen in um so grösserem Maasse veranlasst, an der Konstitution der sich bildenden Mineralien teilzunehmen, je bedeutender er selbst ist. Finden wir so schon einen deutlich erkennbaren Unterschied zwischen zwei aus chemisch völlig identischen Schmelzflüssen hervorgegangenen Gesteinen, von denen das eine als effusive Bildung an die Oberfläche getreten, das andere aber in der Tiefe verfestigt ist, ein Unterschied, der sich namentlich in der Ersetzung der in

den Tiefengesteinen häufigeren, hydroxylhaltigen Silicate der Amphibol- und Glimmergruppe durch die völlig wasserfreien Pyroxene in den Ergussgesteinen auf das klarste ausspricht, so tritt eine solche Differenz noch klarer zwischen normalen Erstarrungsgesteinen hervor und denjenigen, bei deren Krystallisation der Gebirgsdruck als wirksames Agens hinzukam. Wie in den Tiefengesteinen Mineralien als gewöhnlichste Gemengteile auftreten, welche unter den an der Oberfläche vorhandenen Druckverhältnissen in dem Schmelzfluss absolut nicht bestandfähig sind, so treffen wir unter den Verhältnissen der Piëzokrystallisation wiederum eine Reihe von Bildungen, welche dem normalen Tiefengestein in der Hauptsache fremd sind. Und diese Mineralien sind entweder ausgezeichnet durch einen mehr oder minder bedeutenden Gehalt an Hydroxyl oder aber es sind solche, denen ein besonders hohes specifisches Gewicht zukommt.

Alle hier skizzierten Verhältnisse weisen ganz unzweifelhaft darauf hin, dass Schmelzmassen, welche unter den eben geschilderten Verhältnissen in höhere Schichten emporgedrungen sind, dort Wirkungen ausüben mussten, welche qualitativ sowohl als auch quantitativ von den gewohnten Erscheinungen der Contactmetamorphose weit abweichen, so dass die Identifizierung der Erscheinungen in solchen Gebieten mit dem gewöhnlich zu beobachtenden recht schwierig erscheinen mochte. Qualitativ wird der Unterschied in erster Linie dadurch bedingt sein, dass die verhältnismässig leichten Mineralien der normalen Hornfelse viel gedrängteren Molekulargruppen Platz machen; Andalusit, Cordierit etc., die allergewöhnlichsten Gemengteile unserer normalen Hornfelse, sind a priori in den Piëzocontactgesteinen nicht zu erwarten, an ihre Stelle treten in besonderer Menge die hydroxylhaltigen Glimmer, der Disthen, die Mineralien der Granat- und der Epidotgruppe etc., von welchen ja wohl auch in normalen Contactgesteinen das eine oder das andere hin und wieder eine Rolle spielt, aber niemals in dem Maasse und in der gleichmässig constanten Verbreitung wie bei den hier in betracht kommenden Gesteinen. Das Vorherrschen der Glimmer und der glimmerartigen Mineralien, unter welchen letzteren die so dichten Mineralien der Chloritoidgruppe eine besondere Rolle spielen, kommt in der Häufigkeit feinschiefriger Gesteine zu bemerkenswertem Ausdruck, deren Structur noch dadurch besonders regelmässig wird, dass eben der herrschende Druck in einigem Maasse noch orientierend auf die auskrystallisierenden Glimmerblättchen wirkt. Doch ist diese Orientierung keine absolute, und gerade in diesen Gesteinen sind neben den sericitischen Häuten etc., welche die Schieferung in so charakteristischer Weise hervortreten

lassen, grössere Glimmerkrystalle in zahlreichen Individuen vorhanden, die sich vollständig quer zur Schieferung des Gesteins ausgebildet haben. In erster Linie sind dies Individuen von Biotit oder Chloritoid, während Muscovit und Chlorit seltener in dieser Stellung gefunden werden.

Das Fehlen des Andalusits und Cordierits in den hier betrachteten Gesteinen giebt bei der Rolle, welche diese Mineralien in den Knotenschiefern spielen, eine Erklärung dafür, weshalb die in normalen Contactzonen so weit verbreiteten Knotenschiefer, welche man für die charakteristischen Anzeichen contactmetamorphischer Umwandlung überhaupt anzusehen sich gewöhnt hat, in solchen Gebieten völlig fehlen

Während in solcher Art sich eine tiefgehende Verschiedenheit zwischen den Umwandlungsproducten der Tonschiefer unter den beiderlei Verhältnissen ergibt, ist der Unterschied bei den Umwandlungsproducten kalkiger Gesteine ein nicht minder bedeutender. Während unter den normalen Verhältnissen der Contactmetamorphose etwa vorhandene freie Kieselsäure einfach die Kohlensäure des Kalkes austreibt, um mit letzterem zusammen Kalksilicate zu bilden, wie überhaupt bei hoher Temperatur die Kieselsäure als stärkere Säure der Kohlensäure gegenüber tritt, so ist unter dem hohen Druck, welchen die Piëzocontactmetamorphose bedingt, die Möglichkeit zur mehr oder minder freien Entwicklung der Kohlensäure nicht gegeben, diese bleibt mit dem Kalk verbunden, und in dem umkrystallisierten Gestein finden wir in der Grundmasse des Kalkspats eingebettet, gerundete und wie abgeschmolzen aussehende Krystalle von Quarz, welche in dieser Form erst bei der Umkrystallisation sich gebildet haben. Die tonigen Beimengungen der Kalke, die ähnlich wie die freie Kieselsäure unter normalen Verhältnissen aufschliessend auf das Carbonat einwirken und zur Entstehung von Kalktonerdesilicaten Anlass geben, finden sich hier zu glimmerartigen Mineralien umgebildet, neben welchen das Kalkcarbonat gleichfalls gewöhnlich unverändert geblieben ist.

Aber nicht nur diese qualitativen Verschiedenheiten, welche in zahlreichen Fällen durchaus fremdartige Producte hervorbringen, sind bei einem Vergleich der beiden Arten der Contactmetamorphose in betracht zu ziehen, es müssen hier ebenso wohl Unterschiede in der Intensität der Umwandlung, wie in der Ausdehnung der veränderten Gesteinscomplexe deutlich hervortreten. Im Allgemeinen wird man voraussetzen dürfen, dass die Faltungsprocesse die Gesteinsschichten schon lange Zeit in der mannigfaltigsten Weise umgeformt und erschüttert hatten, bevor es zum Empordringen des schmelzflüssigen Magmas selbst gekommen ist, und

dass dann mit dem Einsetzen der vulcanischen Intrusion, die sich hier wie allenthalben recht lebhaft und activ an den deformierenden Processen beteiligte und die Schiefergesteine zu hohen Gewölben emportrieb, der innere Zusammenhang der Schichten mehr und mehr verloren ging und so den von dem krystallisierenden Schmelzfluss ausgehenden Agentien die Möglichkeit geboten wurde, in das feinste Gefüge der Schiefer einzudringen und sie in ihrem innersten Kern zu verändern. Die lange Dauer der Intrusion selbst mit ihren fortwährenden Nachschüben muss gleichfalls als günstig für die weite Verbreitung und die Gesamtwirkung in Rechnung gesetzt werden, und so dürfen wir von vornherein in der Umgebung piëzokrystalliner Eruptivgesteine eine viel vollkommene Umwandlung des Nebengesteins und eine weiter ausgedehnte contactmetamorphische Hülle erwarten.

Wenden wir uns nach diesen theoretischen Ableitungen der Betrachtung eines concreten Falles zu, welcher am schönsten und charakteristischsten in der Centralzone unserer Alpen vorliegen dürfte, so habe ich früher schon mehrmals eingehend meine Anschauung begründet, dass die intrusiven Granite der Centralalpen ihren von der Beschaffenheit normaler granitischer Gesteine weit abweichenden Habitus vermutlich den gebirgsbildenden Processen verdanken, welche während der Verfestigung der Schmelzmassen ihre Tätigkeit ausgeübt haben, eine Theorie, gegen welche bis heute auch nicht der geringste, wissenschaftlich fundierte Einwand vorgebracht worden ist. Von der einen Seite wird zwar die Behauptung aufgestellt, dass die Gesteine der Centralzone in ihrer Gesamtheit typische archaische Schiefergebilde darstellen, von der anderen wird dem „Centralgneiss“ eine eruptive Entstehung zwar noch zugestanden, seine heutige Erforschungsform aber als eine secundär erworbene Eigenschaft hingestellt, indem die Einflüsse der gebirgsbildenden Prozesse ihm lange nach seiner Festwerdung ein neues Gepräge aufgedrückt hätten. Dabei wird im Allgemeinen folgender Gedankengang eingehalten: die Granite der Centralalpen mitsamt ihren gneissartigen Ausbildungsformen waren ursprünglich normale, richtungslos körnige, intrusive Gesteine, welche sich damals von analogen Bildungen sonstiger Territorien vielleicht nur durch den im Allgemeinen etwas hohen Gehalt an Plagioklas unterschieden. Ihr Hervordringen gehört den ältesten geologischen Perioden an. Nachdem die Intrusion mit all ihren Folgeerscheinungen vollendet und die Schmelzmassen völlig verfestigt waren, begann die Erosion ihre Tätigkeit und entfernte spurlos von den gesamten centralgranitischen Massiven die contactmetamorphisch umgewandelte Schieferhülle. Auf das so freigelegte Intrusivgestein setzte sich dann allmählich nach der einen Ansicht die Glimmerschiefer-

und Phyllitformation. nach der anderen direct jüngere Sedimente ab, bis dann schliesslich die gebirgsbildenden Prozesse Stück für Stück in die Höhe hoben und vor der weiteren Ueberdeckung bewahrten. Die intensiven Faltungsprocesse, welche die letzte Phase der Alpenbildung charakterisieren, aber waren es, welche die an sich durchaus normalen Eruptiv- wie Sedimentär-Gesteine dynamometamorphisch umwandelten und zu dem machten, was sie heute sind.

Die Anschauung, dass die sogenannten „Gneisse“ unserer Alpen das sind, was man sonst mit dem Namen „Gneiss“ bezeichnet, ist heutzutage wohl selbst in denjenigen Kreisen aufgegeben, von welchen ursprünglich diese Theorie ausging. Dass diese Gesteine nicht „Protogine“ im wahren Sinne dieses Wortes, sondern spätere, echte Intrusivmassen sind, wird, soweit wenigstens petrographisch urteilsfähige Autoren in betracht kommen, von keiner Seite bestritten werden. Für unsere Zwecke ist aber des weiteren von besonderer Wichtigkeit, dass die Granite der Centralalpen sich auch heute noch in demselben Verbande befinden, in dem sie sich ursprünglich verfestigt haben, dass also nicht erst langandauernde Erosionen dieselben von ihrer contactmetamorphischen Hülle befreiten, um den jüngeren Sedimenten Platz zu machen, die sich auf der freigelegten Oberfläche des granitischen Kerns ablagerten, um dann später erst durch die gebirgsfaltenden Prozesse zwischen diese hineingepresst und hineingefaltet zu werden.

Auch in dieser Frage schafft die Beobachtung leicht und in den verschiedensten Theilen unserer Alpen weitgehende Aufklärung. Ganz abgesehen von den rein petrographischen Verhältnissen, welche überall mit Sicherheit darauf hinweisen, dass die heutigen Randzonen der centralalpinen Granitmassive von Uranfang an deren äusserste Zone waren, sehen wir bald einzelne mehr oder weniger mächtige Apophysen von dem Intrusivgestein in seine Umgebung abgehen, bald beobachten wir, dass sich dasselbe in massenhaften Adern und Gängen mit seiner Schieferhülle geradezu verflücht, dass die aplitischen Gänge, welche in dem Eruptivgestein selbst aufsetzen, ohne Störung in das Nebengestein hinübergehen. Kurzum, die ganze Erscheinungsform der centralalpinen Granite weist mit Sicherheit darauf hin, dass diese Gesteine sich heute noch in derselben Schieferfülle befinden, innerhalb deren sie aus dem schmelzflüssigen in den festen Aggregatzustand übergegangen sind. Und wenn nun diese Nebengesteine nicht den gewohnten Charakter contactmetamorpher Bildungen an sich tragen, so liegt die Ursache sicher nicht darin, dass dieselben einer Contactmetamorphose nicht ausgesetzt gewesen sind, sondern viel-

mehr in dem Umstand, dass die Wirkung der contactmetamorphosierenden Agentien unter den hier gegebenen Verhältnissen von den normalen abweichende waren und daher auch zu abweichenden Resultaten führen mussten. Die Schieferhülle des Centralgranits hat in den verschiedensten Teilen unserer Alpen äusserst wechselnde Eigenschaften und ganz abgesehen von Funden wohlcharakterisierter Fossilien, welche in derselben an mehren Punkten gemacht wurden, weist schon diese Erscheinung darauf hin, dass es sehr verschiedene Formationen sind, welche mit dem Granit in Contact treten und zwar weitaus in den meisten Fällen in primären Contact: die jüngsten Gesteine in derartigem Verband mit dem Granit, deren Alter sicher nachgewiesen ist, sind wohl die durch zahlreiche Funde von Belemniten ausgezeichneten und dadurch als jurassisch bestimmten Schiefer mehrerer Schweizer Localitäten.

Wenn nun auch die Tatsache nicht zu bestreiten ist, dass die Granite der Centralalpen sich heute noch in ihrem ursprünglichen Verbands befinden, so ist doch nicht von vornherein ebenso klar, dass der heutige Zustand der Gesteine der Schieferhülle gerade ausschliesslich der Contactmetamorphose zuzuschreiben ist. Die Anhänger der dynamomorphischen Theorien werden den Einwand machen, dass erst normale Contactgesteine an den normalen Graniten sich entwickelten, und dass später durch die intensiveren mechanischen Prozesse diese eine innere moleculare Umlagerung erfahren haben, welche erst den heutigen Habitus der Gesteinsgruppen herbeiführte. Die Unwahrscheinlichkeit einer derartigen, durch keine Beobachtung in der Natur gerechtfertigten Hypothese wurde früher von mir in bezug auf das Eruptivgestein an mehreren Stellen hervorgehoben, die Unmöglichkeit derselben in Beziehung auf die Contactgesteine soll hier kurz begründet werden.

Wären die Gesteine der Schieferfälle zwischen dem ursprünglichen, in der grossen Mehrzahl der Fälle wenigstens, unzweifelhaft klastischen Zustand und ihrer jetzigen Beschaffenheit in einem Zwischenstadium normaler Contactgesteine, aus welchen sie durch die gebirgsbildenden Prozesse eine rein dynamische Umwandlung erfahren haben, so wird von dieser Theorie gleichzeitig stillschweigend vorausgesetzt, dass die Faltungen und Schichtenverbiegungen in der Hauptsache den dynamischen Agentien zugeschrieben werden müssen. Es wäre dann wohl immerhin die Möglichkeit gegeben, dass in weniger stark mechanisch beeinflussten Stellen ein Teil der Zusammensetzung des normalen Contactgesteins noch erhalten wäre. Vorkommnisse, in welchen Reste normaler Contactgesteine erkannt werden müssten, sind aus den

Centralalpen nicht bekannt und die Beschaffenheit, welche die carbonischen Schiefer der Steiermark mit ihren in jedem Detail erhaltenen und nicht deformierten Pflanzenresten aufweisen, weicht ebenso weit von dem normalen Habitus contactmetamorpher Gesteine ab, wie diejenige irgend welcher aufs intensivste zusammengequetschter Schiefer aus dem gesamten Bereiche der Centralzone. Ein besonderes Gewicht gegen die Theorie einer dynamometamorphen Entstehung der sog. „krystallinischen Schiefer“ unserer Centralalpen liegt aber in folgenden zwei Beobachtungsreihen aus dem Gebiete des Gross-Venedigers:

1. Eine Serie sehr graphitreicher Glimmerschiefer befindet sich dort in ziemlicher Nähe des Centralgranits; sie sind im Grossen mannigfach gefaltet, im Kleinen in den feinsten, steil stehenden Fältchen gelegt, so dass sie die schönsten Belegstücke für Faltungerscheinungen in jedem Masse bieten. Diese Schiefer enthalten in einer dichten, schwarzen Glimmerschiefer-ähnlichen Grundmasse eine grosse Anzahl von Einsprenglingen: lange Nadeln von Turmalin, welche quer zu Schichtung und Faltung des Gesteins stehen, grössere Blättchen von Biotit und Chlorit, welche in der gleichen Weise die Faltung durchschneiden, Krystalle von Feldspat, von Granat, welche sich nicht im mindesten an den Schichtenverlauf halten etc. All diese Bestandteile lassen die eigentliche Contactstructur der Gesteine dadurch hervortreten, dass die Gesteinsschichtung, angedeutet durch winzige Einschlüsse von Graphit, durch all diese Bestandteile hindurchsetzt, und dass diese Einschlüsse sich in den grösseren Individuen zu Bändern anordnen, welche genau der Fortsetzung des gefalteten Schichtenverlaufes in der Grundmasse entspricht. Diese Gesteine waren somit ebenso intensiv gefaltet, bevor es zur Bildung dieser Mineralien kam, wie sie uns heute vorliegen: denn hätte während oder nach der Bildung derselben weitere Verschiebungen im Gestein stattgefunden, so hätten doch mindestens die mehrere Centimeter langen Turmalinnadeln, die ganz richtungslos die Gesteine durchschliessen, eine Störung, eine Zertrümmerung erleiden müssen, was nirgends der Fall ist. Daraus folgt, dass Schichtenfaltung und Mineralneubildung hier keinen directen Zusammenhang aufweisen.

2. Die Kalkschiefer, welche in der Schieferfülle eine ungleichmässige weite Verbreitung haben, enthalten zunächst am Granitcontact sowohl als in weiterer Entfernung von diesem massenhaft kleine, gerundete, aber sicher an Ort und Stelle erst krystallisierte Individuen von Quarz. Nach allen unseren bisherigen Erfahrungen entsteht aus einem Kalkstein, welcher freie Kieselsäure enthält und unter normalen Umständen der Contactmetamorphose unter-

liegt, ein Aggregat von Kalkspat mit Wollastonit, d. h. durch die Kieselsäure wird ein Teil des Kalkspats aufgeschlossen. Wären also die Gesteine des Gross-Venedigers zuerst der normalen Contactmetamorphose anheim gefallen gewesen, so wäre kein Grund vorhanden, dass sich hier nirgends Wollastonit gebildet hätte, dann aber hätte eine superponierte Dynamometamorphose doch wohl nicht die ursprüngliche Paragenesis von Quarz und Kalkspat wiederherstellen können, d. h. die mineralische Beschaffenheit der sogenannten Kalkglimmerschiefer der Centralalpen macht eine doppelte Metamorphose durchaus unwahrscheinlich. Eine contactmetamorphische Umwandlung und zwar eine solche von besonderer Intensität muss aber als unzweifelhaft angenommen werden, und die Verschiedenheiten in der Beschaffenheit dieser Gesteine gegenüber normalen Contactgesteinen dürfen nur in den abweichenden Verhältnissen gesucht werden, unter denen sich hier die contactmetamorphischen Prozesse abspielten.

Wenn wir die Beschaffenheit der Schieferfälle in den verschiedensten Teilen der Alpen betrachten, so können wir dieselbe recht wohl in Einklang bringen mit den theoretischen Betrachtungen, welche diesem Abschnitt vorausgesandt wurden; nicht nur das Fehlen der charakteristischen Contactmineralien wie Andalusit, Cordierit, Wollastonit in den meisten Gebieten der Centralalpen, nicht nur das Fehlen der Knotenschiefer und Frucht-schiefer, die sonst so bezeichnend sind, lässt sich auf einfachem Wege erklären, auch die positiven Kennzeichen, das Vorherrschen der Glimmerschiefer und der Chloritschiefer unter den alpinen Gesteinen, die Häufigkeit von Granat, Epidot, Staurolith, Disthen etc. in denselben stehen in Einklang mit der oben gegebenen Theorie, welche die gesamten eigenartigen Erscheinungen einer unter besonders hohem Drucke wirkenden Contactmetamorphose zuschreibt. Bemerkt mag noch werden, dass im Gegensatz zu dem Mangel von Knotenschiefern sich an zahlreichen Punkten der Alpen Garbenschiefer von ungewöhnlicher Schönheit vorfinden, wie überhaupt die Mineralien der Hornblende-gruppe hier eine besondere Rolle in den Schiefergesteinen spielen.

Diese Betrachtungsweise hat nicht nur die Einfachheit vor der Theorie der Dynamometamorphose voraus, sondern auch die Eigenschaft, dass an Stelle der vagen, von jedem Forscher besonders gedeuteten dynamometamorphen Theorieen präcisierte Begriffe treten, welche nicht wie jene einen rein hypothetischen Charakter an sich tragen, sondern sich vielmehr auf das Vollkommenste unseren übrigen chemisch-geologischen Erfahrungen angliedern. Und wo wir Unterschiede constatieren müssen zwischen der durch Effusivgesteine hervorgebrachten Umwandlung des

Nebengesteins mit dem vorherrschenden Charakter der Hitzewirkung und den durch Tiefengesteine eingeleiteten contactmetamorphischen Veränderungen, bei welchen die reine Hitzewirkung ganz in den Hintergrund tritt; so haben wir noch eine dritte Form der Contactmetamorphose neben diesen beiden zu unterscheiden, die Contactmetamorphose unter besonders gesteigertem Druck, die Piëzocontactmetamorphose, deren Charakter hier ausführlich geschildert wurde.

So stellt sich für die alpinen Gebiete sowohl als für solche, die ausserhalb derartiger Faltengebirge liegen, die Contactmetamorphose als ein weit wichtigerer Factor dar, als im Allgemeinen in der Geologie zugegeben wird. Man wird mir ja wohl den Einwand machen, dass meine Auseinandersetzungen auf geologische Anschauungen zurückführen, welche man seit vielen Jahren für definitiv überwunden angesehen hat, und die recht eigentlich den ersten Stadien der wissenschaftlichen Entwicklung der Geologie angehören. Ein gewisser Unterschied zwischen den damaligen Theorien und den hier vorgetragenen Anschauungen dürfte aber auch von den Gegnern nicht verkannt werden, und dieser ist darin begründet, dass jene Theorien eine rein theoretische Bedeutung hatten, dass bei dem damaligen Stande der Untersuchungsmethoden keine Möglichkeit vorlag, die lange Reihe von Beweisen kennen zu lernen, welche ich als Begründung für meine Ansichten vorzubringen in der Lage bin. Alles in allem handelt es sich als Schlussresultat dieser Abhandlung weniger um den Gegensatz zwischen Dynamometamorphose und Piëzokrystallisation, der im letzten Abschnitt im Vordergrund stand, als vielmehr um das weitere Gebiet der Erklärung der „krystallinischen Schiefer“, derjenigen sowohl, welche die sogenannte archaische Formationsgruppe zusammensetzen, als auch jener, deren jüngerer geologisches Alter heute nicht mehr umstritten ist, und damit spielt die Sache hinüber in das Gebiet der allgemeinen, wie der historischen und tektonischen Geologie.

Die Geschichte der Geologie zeigt uns ein so wechselvolles Bild in der Auffassung gerade dieser Gesteinsserien und jede Periode des Aufschwungs der Wissenschaft hatte den Sturz der Theorien zur Folge, welche die vorhergehende als unzweifelhafte Erklärung der krystallinischen Schiefer aufgestellt hatte, was schon deutlich zeigt, wie wenig befriedigend all diese Theorien bei eingehendem Nachdenken wirkten, bis man schliesslich sich darauf beschränkte, die „krystallinischen Schiefer“ schlechtweg als „metamorphische“ zu bezeichnen, wobei sich jeder unter dem metamorphosierenden Agens denken mochte, was ihm am nächsten stand — nur nicht den Contactmetamorphismus —, und damit

war der Gegensatz zwischen dem rein local wirkenden Contactmetamorphismus und dem allgemeinen Regionalmetamorphismus gegeben, sei des letzteren Grundlage nun der Dynamometamorphismus der modernen Schulen und der plutonische oder hydrochemische Metamorphismus, welche vor 60 und 80 Jahren das Feld beherrschten. Schon früher hat man, worauf schon in der Einleitung hingewiesen wurde, die Fähigkeit vor allem der Intrusivgesteine erkannt, auf weitere Entfernungen hin verändernd auf ihr Nebengestein einzuwirken, aber bald nachdem diese Erkenntnis sich in weiteren Kreisen wissenschaftlicher Forscher Bahn gebrochen hatte, erklangen auch schon warnende Stimmen gegen die Ueberschätzung dieser Agentien in der Bildungsgeschichte unserer Erdkruste. Die geologischen Aufnahmen, vor allem jene in Sachsen und in den Reichslanden lehrten uns die Contacthöfe in typischer Ausbildung kennen, und man hat sich, wenn auch nach längerem Zaudern, doch der Erkenntnis nicht verschliessen können, dass die umbildende Tätigkeit der contactmetamorphosierenden Agentien sich doch auf recht weite Entfernung von dem Eruptivgestein verfolgen lasse. Fand man doch die letzten Spuren der Einwirkung noch in einer Entfernung von vier und fünf Kilometern. So bedeutend solche Entfernungen an sich scheinen mögen, so sind dieselben doch recht untergeordnet gegenüber den Dimensionen, welche den krystallinischen Schieferformationen zukommen sollten, welchen eine sechs- oder gar zehnmal so bedeutende Mächtigkeit zugeschrieben wird. Der Unterschied zwischen localem Contactmetamorphismus und dem allgemeinen Regionalmetamorphismus ist somit dadurch gegeben, dass der erstere nur im Zusammenhang mit Eruptivgesteinen möglich ist und in beschränktem Umkreise um dieses wirkt, der letztere dagegen ein Eruptivgebilde nicht voraussetzt und die weiteste Umgebung mehr oder minder gleichmässig ergreift. Auch in Bezug auf die von beiden Arten des Metamorphismus gelieferten Producte werden hin und wieder Unterschiede constatirt, so sind Hornfelse und Chistolithschiefer, Knoten- oder Garbenschiefer wohl überall als Producte einer Contactmetamorphose anerkannt. Gneisse, glimmerreiche Schiefer, Chloritschiefer, Amphibolite etc. sollen auf regionalmetamorphische Umwandlung weisen.

Eines der klassischen Gebiete der krystallinischen Schieferformation, besonders berühmt noch dadurch, weil in demselben die eigenartige Theorie GÜMBEL's über die Bildung der krystallinischen Schiefer gross geworden ist, welche er als Diagenese bezeichnete, ist der bayerische Wald, der wohl überall, wo von „archaischen“ oder von „metamorphischen“ Schiefen gesprochen wird, in die erste Reihe gestellt wird. Legen wir einon Quer-

schnitt durch das Gebiet, welcher etwa von Regen bis Eisenstein verläuft, so hat dieser eine Länge von ca. 20 km, und derselbe durchschneidet auf der ganzen Strecke nur die typische hercynische Gneissformation GÜMBEL's, welcher, wie man das durchschnittliche Einfallen der Schichten in Betracht zieht, somit eine Mächtigkeit von ca. 13—15 km zukommen würde. eine Mächtigkeit, welche bei der so sehr gleichmässigen Beschaffenheit der ganzen Gesteinsserie enorm erscheint, zumal wenn man bedenkt, dass es sich hier nur um einen Bruchteil einer einzigen der drei „archaischen“ Formationen handelt. Die Sache erscheint bei genauerer Betrachtung allerdings lange nicht mehr so auffallend.

Das Profil schneidet nämlich mindestens sechsmal mehr oder minder mächtige Lager von echtem, intrusivem Granit, welcher so richtungslos körnig und normal ist, dass er nie für etwas anderes gehalten wurde, als für ein in schmelzflüssigem Zustand emporgedrungenes Gestein. Zusammen ergeben diese Einlagerungen etwa ein Drittel des ganzen Profils, und was die Hauptsache ist, ihr unregelmässiges, in den verschiedensten Niveaus sich wiederholendes Auftreten beweist, dass es sich dabei nur um die Ausläufer mächtiger vulcanischer Massen handeln kann, die in der Tiefe schlummern. Diese normalen Granite sind nun je begleitet von einer mehr oder minder mächtigen, in einzelnen Fällen sicher über 2 km breiten Zone, in welcher sich eine Mischung von granitischem Material mit sedimentärem deutlich zu erkennen giebt. Die „körnig-streifigen“ Cordieritgneisse GÜMBEL's sind nichts weiter als von granitischem Material injizierte Hornfelse, in welchen die mikroskopische Untersuchung, ebenso wie die Beobachtung im Felde alle Eigenschaften eines solchen Mischgesteins mit Sicherheit festzustellen gestattet. Endlich sind dazwischen noch untergeordnete Mittel vorhanden, welche der eigentlichen Injectionszone nicht mehr angehören, eine genauere Bestimmung reihet sie bei den Cordierithornfelsen ein. Die Mächtigkeit der Gneisspartie zwischen Regen und Eisenstein verteilt sich also folgendermassen: ca. 5 km reiner Granit und ca. 10 km injizierter Schiefer, welche als 1—2 km breite Contacthöfe sich zwischen den einzelnen Granitmassiven einschalten und selbst wieder mindestens aus 50% Granit zusammengesetzt sind; die restierenden 50% der letzteren Abteilung aber kann man gar nicht mehr als Gneisse bezeichnen, es sind vielmehr echte Hornfelse von normalster Zusammensetzung und Struktur, wie man sie nur irgendwo in Contactgebieten beobachten kann. An das nördliche Ende des Profils schliesst sich dann der Glimmerschiefer und Phyllitformation an, wiederum in sehr mächtiger Entwicklung, aber die Ausdehnung

der mächtigen Granitmasse in der Tiefe auch unter diesem Teile des Gebietes wird nicht nur durch die massenhaften stock- bis gangförmigen Massen von Granit und anderen Intrusivmassen deutlich klargelegt, welche allenthalben innerhalb dieser Schiefer und oft mit auch hier recht typischen Injectionerscheinungen auftreten, sondern auch dadurch, dass das ganze Glimmerschiefergebiet von mächtigen granitischen Massiven rings umschlossen wird. Die Schiefer, welche wir hier durchschnitten haben und die in der Geologie wohl als die typischsten Beispiele echter „archaischer“ Schiefer gelten, sind in allen Teilen normale contact-metamorphische Gebilde; ursprünglich krystallinische Schiefer oder auch Producte irgend einer Art von Regionalmetamorphose haben in diesem Profil keinen Platz.

Ein anderes Beispiel dieser Art, welches sich von dem bisher betrachteten in mancher Beziehung unterscheidet, das aber ebenso wie dieses als typisches Gebiet der krystallinischen Schiefer allgemein anerkannt wird, liegt im Oberpfälzer Wald vor, in welchem sich die Mächtigkeit der Gneissformation etwa auf das Dreifache und darüber gegenüber den Verhältnissen im bairischen Wald ausdehnt, dafür aber auch die Anzahl der Lager und Stöcke eingelagerter Granite sich mindestens ebenfalls verdreifacht. Ich wähle eine Stelle vom Nordrand dieses Gebirges, weil man im Oberpfälzer Wald selbst über den Wechsel von Granit und injiziertem Schiefer überhaupt nicht hinaus kommt; es ist dies die Gegend von Tirschenreuth. Dieses Städtchen selbst liegt noch auf Granit, welcher etwas weiter südlich an der sog. Schmelz, vollständig kaolinisiert ist. Auf der Strasse gegen Wondreb zu in etwa nördlicher Richtung kommt man zunächst an eine Masse von „Syenitgranit“ und bald darauf, in einer Entfernung von 3—4 km von Tirschenreuth, treten die prächtigsten injizierten Schiefer auf, welche namentlich in die Nähe von Wondreb selbst mehrfach prachtvoll aufgeschlossen sind. Die Adern aplitartigen Granites durchsetzen den Schiefer und lassen sich besonders dadurch gut von diesem abheben, weil sie zum grossen Teil kaolinisiert sind, während der Schiefer selbst meistens noch recht fest ist. Folgt man dann von Wondreb aus dem nach Nordwesten abzweigenden breiten Tal der mäandrisch sich verschlingenden Wondreb, so zeigen die Nordabhänge des Tales mehr und mehr ein Zurücktreten der granitischen Injection, und man erreicht sehr bald die Grenze zwischen Gneiss und Glimmerschiefer (nach GÜMBEL). Die letzteren Gesteine sind sehr wechselnd, besonders selten sind eigentliche Glimmerschiefer; dafür trifft man richtungslose Hornfelse. Lydite in mächtigen Einlagerungen, Chiastolitschiefer, Knotenglimmerschiefer etc., bis man

bei weiterem Fortschreiten die Umwandlung mehr und mehr abnehmen sieht und phyllitartige Gesteine, aber immer noch mit einzelnen Einlagerungen der stärker umgewandelten Gebilde, auftreten. Das ganze Profil ab Wondreb umfasst etwas über 5 km, doch ist der nächste anstehende Granit von den zuletzt geschilderten phyllitartigen Bildungen bei Grossensees nur ca. 3 km entfernt, getrennt von den anstehenden Schiefen durch diluviale Ablagerungen, so dass die Contactzone selbst hier gar nicht sichtbar ist, die aber jedenfalls weniger als 3 km von den phyllitartigen Schiefen entfernt sein muss. Das, was hier als Gneiss, Glimmerschiefer und Phyllit auf den geologischen Karten ausgeschieden ist, wäre bei der Aufnahme im Königreich Sachsen richtig als Contacthof des Granites gedeutet worden.

Bemerken möchte ich noch, dass die intensiven Zersetzungsercheinungen, welche die aplitischen Apophyseu und die injicierten Schiefer zu Kaolin umgewandelt haben, stellenweise auch ausserhalb der Injectionszone noch sich verfolgen lassen, und dann namentlich zu Neubildungen von Nontronit geführt haben, der bald in zeisiggrünen Adern die Schiefer durchsetzt, bald das ganze zu lockerem Sand umgewandelte Gestein imprägniert.

Noch intensiver werden diese Umwandlungen etwas weiter nach Nordwesten zu, wo in der Nähe von Ebnath, unter ähnlichen geologischen Verhältnissen auftretende „Phyllite“ stellenweise ganz nontronisiert sind; die Schluchten, welche in diesen mürben Schiefen aufgerissen sind, zeigen oft den gelben Ton des stellenweise als Anstrichfarbe ausgebeuteten Nontronit, welcher z. B. in dem Namen Schwefelgasse zum Ausdruck kommt. Innerhalb dieser Phyllite trifft man ebenfalls einzelne Bänke von Hornfels und Lydit, und was besonders von Interesse ist, nur wenig veränderte Arkosen, die ihre klastische Struktur schon dem blossen Auge deutlich zeigen.

Ein ferneres Beispiel krystallinischer Schiefergebiete, welches sich von dem eben besprochenen in seinem ganzen Charakter unterscheidet, bieten uns die Centralalpen, deren Bedeutung für die hier in Betracht gezogenen Verhältnisse oben mehrfach beleuchtet wurden. In erster Linie ist der gleichbleibende petrographische Charakter der sog. krystallinischen Schiefer, welcher als besonders bezeichnend für die Urformationen angesehen wird, hier selbst für den skrupellosesten Beobachter nicht mehr zu constatieren, dann trifft man in den Alpen die typischen Contactproducte nicht, wie schon oben abgeleitet wurde, und endlich sind eigentlich injicierte Zonen in den Schiefen der Alpen ziemlich selten. Wenn ich trotzdem die Schieferhülle des Gross-Venedigers, des Gotthardts etc. als eigentliche Producte der

unter etwas anomalen Verhältnissen vor sich gegangenen Contactmetamorphose ansehe, so habe ich die Belege für meine Anschauungen oben erbracht. Für die Verhältnisse der eigentlichen krystallinischen Schiefer kommen sie kaum mehr in Betracht, da man in immer weiteren Kreisen zu der Ueberzeugung gekommen ist, dass die krystallinischen Schiefer der Alpen mit den krystallinischen Schiefen der vorausgesetzten „archaischen Formationsgruppe“ gar nichts zu tun haben.

Die Beispiele, welche angeführt wurden, habe ich der nächsten Umgebung entnommen, schon deshalb, weil mir hier durch häufigeren Besuch und länger andauerndes Studium ein besserer Einblick in die Verhältnisse möglich war. Ich könnte sie leicht durch zahlreiche Beispiele aus anderen Ländern vermehren, so aus Frankreich, wo dieselben Grundzüge sich in den krystallinen Schiefen der Pyrenäen, wie des Plateau central wiederholen, aus Ungarn, wo ebenso die krystallinischen Schiefer des Banats wie diejenigen der Umgebung von Schemnitz in die hier erwähnte Kategorie gehören. Ich will damit nicht ermüden. Nach dem Angeführten dürfte jedenfalls kein Zweifel möglich sein, dass ein grosser Teil von demjenigen, was der Geologe heute als archaische Formation ausscheidet, in die Gruppe der Vorkommnisse des bairischen und Oberpfälzer Waldes gehört, wo weder von einer ursprünglichen krystallinischen Beschaffenheit der Gneisse und Glimmerschiefer irgendwie die Rede sein kann, ebenso wenig wie von einer Regionalmetamorphose irgend welcher Art, sondern in welcher die normalsten Erscheinungen der contactmetamorphen Einwirkung mächtiger Granitmassive auf benachbarte, vorherrschend aus Ton-schiefern aufgebaute, klastische Formationen vorliegen, welche mit den gewöhnlichen Erscheinungen der Contactmetamorphose qualitativ wie quantitativ, intensiv wie extensiv, auf das Vollkommenste übereinstimmen, und daher nicht als Grundlage für besondere Theorien dienen dürfen. Und was das geologische Alter dieser „echten“ krystallinischen Schiefer betrifft, so ist darüber nur so viel zu sagen, dass kein Grund vorliegt, sie für älter zu halten als die ältesten fossilführenden Formationen. Für die Annahme eines „archaischen“ Alters fehlt jeder Anhaltspunkt.

Mit der Erkenntnis der genetischen Beziehungen der hier betrachteten Gesteine ist es allerdings noch lange nicht entschieden, dass alles das, was man heute noch als „archaische Formation“ zusammenfasst, in dieselbe Gruppe gehören muss, und dass nicht daneben und vielleicht auch in recht weiter Verbreitung eine Reihe eigentlicher krystallinischer Schiefer vorhanden ist, welche eine von der geschilderten abweichende Entstehungsart besitzen und entweder ursprünglich krystallinisch-schiefrig ausgebildet

waren oder aber irgend einer Art von Regionalmetamorphose ihre Entstehung verdanken. Ich selbst masse mir nicht an, darüber abzuurteilen, wenn ich auch im Allgemeinen wenig an solche Verhältnisse glaube. Hier wollte ich in erster Linie den Factor der Contactmetamorphose in der Geologie in das richtige Licht setzen, und zweitens vor dem Aufstellen allzuweit gehender Theorien warnen, welche ihren Grund in erster Linie in der angenommenen ungeheuren Mächtigkeit der krystallinischen Schiefersysteme haben. Wie die obigen Beispiele zeigen, ist diese Mächtigkeit selbst in den klassischen Gebieten der krystallinischen Schiefer durchaus nicht so bedeutend, und wenn man allenthalben aus der gesamten Folge derselben die nachweisbar intrusiven Gesteine, ob sie nun körnig oder schieferig ausgebildet sind, abscheidet, und die Zone wegtrennt, in welcher Schiefergesteine von Eruptivbildungen resorbiert oder wenigstens injiciert wurden, dann wird wohl häufig nichts anderes übrig bleiben, als das normale Bild, welches oben aus den Erscheinungen des bayerischen und oberpfälzer Waldes herausgeschält wurde, oder das wir in den Alpen kennen gelernt haben.

Zum Schluss möchte ich noch einem Einwand begegnen, welcher gegen meine Anschauungen gemacht worden ist, nämlich dem, dass z. T. die von mir als contactmetamorphisch angesehene Hülle selbst, z. T. die direct über dieser abgelagerten Sedimente Rollstücke von Granit enthalten, woraus der Schluss sich ableitet, dass sich diese Schichten auf dem blossgelegten Granit abgelagert haben müssten, somit jünger seien als dieser und daher von einer Contactmetamorphose keine Rede sein könne. Wenn dieser Einwand irgend eine Bedeutung haben soll, so muss in erster Linie eine definitive Identificierung der Gerölle mit dem Granit in situ so sorgfältig als irgend denkbar ausgeführt werden, wodurch man es überhaupt erst wahrscheinlich machen kann, dass dieselben Bruchstücke eben dieses Granites sind. Und auch dann ist eine Täuschung nicht ausgeschlossen, da manches Granitmassiv, bei dessen Zerstörung Conglomerate entstanden sind, welche Bestandteile ganz alter Formationen bilden, in allen Details übereinstimmt mit Graniten, die an anderen Stellen dieselben und noch jüngere Formationen durchbrechen. Dazu brauchen die betreffenden Granite oberflächlich nicht einmal anzustehen, wie z. B. die Erscheinungen in den Ardennen erweisen, wo Bruchstücke von Granit und Pegmatit Conglomerate zusammensetzen, ohne dass diese Gesteine anstehend in weiter Entfernung gefunden würden.

Und endlich soll hier noch vor den bekannten, utopistischen Constructionen gewarnt werden, in welche die tektonische Geologie sich so leicht verliert, wenn sie das Verhältnis normaler Sedimente

zu krystallinischen Schiefergesteinen ins Licht zu setzen versucht, wobei der Name Gneiss, Glimmerschiefer und Phyllit mit dem Begriff des ungemein hohen Alters der archaischen Formation verschmilzt. Ein Gestein, welches den Habitus eines „Gneisses“ besitzt, ist häufig genug ebenso wohl eruptiven Ursprungs, wie irgend ein richtungsloser Granit, und dann kann der „Gneiss“ unter den sämtlichen Gesteinen des betreffenden Gebietes, trotzdem er zu unterst liegt, das jüngste sein, welches die andern durchbrochen oder doch wenigstens aufgerichtet hat. Infolge seiner intrusiven Entstehung gestaltet sich dann häufig der Contact mit den durchbrochenen Gesteinen zu einem im höchsten Grade complicierten und die fast unentwirrbaren Profile, welche die Forschungen in solchen Gebieten ergeben haben, stehen in gar keinem Verhältnis zu der Einfachheit, welche tatsächlich vorhanden ist. Wie viel Verwirrung in der Geologie hat nicht schon das einzige Wort „Gneiss“ angestiftet?

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 1902

Band/Volume: [54](#)

Autor(en)/Author(s): Weinschenk Ernst

Artikel/Article: [12. Vergleichende Studien über den Contactmetamorphismus. 441-479](#)