

Über Mineralbestand und Struktur der kristallinen Schiefer.

Durch zahlreiche Einzelarbeiten des letzten Jahrzehnts, vor allem aber durch die Verhandlungen des 2. internationalen Geologenkongresses in Wien ist einer der ältesten und am heftigsten diskutierten Streitpunkte der petrographischen Geologie, die Frage nach der Entstehung der kristallinen Schiefer, wiederum in den Vordergrund der wissenschaftlichen Diskussion getreten. Wenn auch infolge der eingehenden petrographischen Detailstudien zweifellos ihre Grundlage heute viel klarer zu übersehen sind, als dies noch 15 Jahre früher der Fall war, als der 1. internationale Geologenkongress

Von

E. Weinschenk.

ausgesprochen dieselbe Frage zur Erörterung gestellt hatte, so ist es doch allgemein lehrreich, die in den Sitzungsberichten des Wiener Kongresses enthaltenen Anschauungen der verschiedenen Schulen miteinander zu vergleichen. Diesem Zweck dient vornehmlich die außerordentliche Vielseitigkeit deutlich hervortritt, welche dem Thema an sich zukommt. Von der rein stratigraphischen Behandlung der Frage ausgehend, welche in einigen der Vorträge des 2. Geologenkongresses vorherrscht, und die in anderen wenigstens neben der petrographischen Betrachtungsweise bestehen bleibt, bis zu den rein theoretischen Abstraktionen, die in Beckes Darstellung hervortreten, findet man eine Reihe mehr oder minder vermittelnder Hypothesen.

Trotzdem nun gerade diese Verhandlungen des 2. internationalen Geologenkongresses zur Evidenz gezeigt haben, wie wenig im Augenblick noch die Ansichten über die kristallinen Schiefer geklärt sind, so liegt es doch auf der Hand, daß jedes Lehrbuch der Gesteinskunde zu dieser Frage Stellung nehmen muß. Ja selbst ein, speziell die kristallinen Schiefer behandelndes, kleines Lehrbuch¹⁾ ist in seinem ersten Teile auf dem vom Kongress vorbereiteten Boden erschienen, in welchem Grubenmann unter Grundlage derselben theoretischen Erörterungen, wie sie Becke in seinem Vortrag auf dem Kongresse gab, die rein praktische Frage zu lösen versucht.

¹⁾ V. M. Grubenmann: Die kristallinen Schiefer I. 1901.

Durch zahlreiche Einzelarbeiten des letzten Jahrzehnts, vor allem aber durch die Verhandlungen des 9. internationalen Geologenkongresses in Wien ist einer der ältesten und am heißesten umkämpften Streitpunkte der petrographischen Geologie, die Frage nach der Entstehung der kristallinen Schiefer, wiederum in den Vordergrund der wissenschaftlichen Diskussion getreten. Wenn auch infolge der eingehenden petrographischen Detailstudien zweifellos ihre Grundzüge heute viel klarer zu übersehen sind, als dies noch 15 Jahre früher der Fall war, als der 4. internationale Geologenkongreß zu London dieselbe Frage zur Erörterung gestellt hatte, so ist es doch ungemein lehrreich, die in den Sitzungsberichten des Wiener Kongresses niedergelegten Anschauungen der verschiedenen Redner miteinander zu vergleichen, schon deshalb, weil dadurch die außerordentliche Vielseitigkeit deutlich hervortritt, welche dem Thema an sich zukommt. Von der rein stratigraphischen Behandlung der Frage angefangen, welche in einigen der Vorträge des 9. Geologenkongresses vorherrscht, und die in anderen wenigstens neben der petrographischen Betrachtungsweise bestehen bleibt, bis zu den rein theoretischen Abstraktionen, die in Beckes Darstellung hervortreten, findet man eine Reihe mehr oder minder vermittelnder Hypothesen.

Trotzdem nun gerade diese Verhandlungen des 9. internationalen Geologenkongresses zur Evidenz gezeigt haben, wie wenig im Augenblick noch die Ansichten über die kristallinen Schiefer geklärt sind, so liegt es doch auf der Hand, daß jedes Lehrbuch der Gesteinskunde zu dieser Frage Stellung nehmen muß. Ja selbst ein, speziell die kristallinen Schiefer behandelndes, kleines Lehrbuch¹⁾ ist in seinem ersten Teile auf dem vom Kongreß vorbereiteten Boden erschienen, in welchem Grubenmann unter Grundlage derselben theoretischen Erörterungen, wie sie Becke in seinem Vortrag auf dem Kongresse gab, die rein praktische Frage zu lösen versucht.

¹⁾ M. Grubenmann, Die kristallinen Schiefer I, 1904.

Auch ich war gezwungen, in meinem Lehrbuch der Gesteinskunde¹⁾ meinen scharf umgrenzten Standpunkt dieser Frage gegenüber zu präzisieren, ohne daß ich ihn dort, mit Rücksicht auf den Lehrzweck und den Umfang des Buches, hinlänglich verteidigen konnte. Auch die Möglichkeit, diese Verteidigung dem Kongreß selbst vorzulegen, war mir genommen, da mich die Arbeiten an diesem Buche von der Teilnahme am Kongreß abhielten und anderenteils das Komitee Arbeiten von Nichtteilnehmern zum Abdruck nicht annahm.

Es mag also hier versucht werden, die Ergebnisse mehr als fünfzehnjähriger Reisen und Studien in den allerverschiedensten Gebieten, vor allem in den Zentralalpen, für die in Betracht kommende Frage eingehender darzulegen. Die zahlreichen und völlig übereinstimmenden geologischen Beobachtungen lassen dann vielleicht meinen Standpunkt nicht mehr so ganz als „einseitige, durch nichts bewiesene Hypothese“ erscheinen, als welche er von der Kritik in bemerkenswertem Gegensatz zu den so empfehlenden Äußerungen über die rein theoretischen Ableitungen von Becke und Grubenmann verufen wird.

Daß ich in meinem oben angeführten Buche gerade den letzteren Deduktionen besonders scharf gegenübertreten mußte, findet seine Erklärung in dem absoluten Gegensatz, welcher zwischen diesen und meiner Anschauung vorhanden ist. Wenn aber Milch in einem sonst durchaus sachlichen Referat über mein Buch glaubt, eine beleidigende Tendenz für meine Gegner herauslesen zu sollen, so dürfte doch wohl der Wortlaut meiner Ausführungen exakt genug sein, um derartige Unterstellungen auszuschließen. Ich habe dort gesagt, daß es „eine Verschleierung der Tatsachen ist, wenn man versucht, durch ein großes Aufgebot von neuen Namen das früher an anderen Bildungen Erkannte zu etwas durchaus Neuem zu stempeln.“ Ich kann von diesem Satz auch heute kein Wort abschwächen, denn daß diese neuen Bezeichnungen nur neue Namen für Erscheinungen darstellen, welche seit langem bekannt und eingehend studiert sind, kann doch wohl niemand zweifelhaft sein. Eine solche auf rein theoretischen Erwägungen aufgebaute Doppelnomenklatur kann somit doch wohl nur den einen Zweck haben, die früher erkannte Tatsache dem Sinne der neuen Hypothese dienstbar zu machen; es liegt ihr eine bestimmte Absicht zu Grunde, die sonst in den „exakten“ Wissenschaften nicht hervortreten pflegt, und die auch keineswegs in irgend einer Weise zur Klärung der Fragen beiträgt.

¹⁾ E. Weinschenk, Grundzüge der Gesteinskunde II. Spezielle Gesteinskunde, 1905.

Bevor wir aber in die Einzelheiten der Sache eingehen, scheint es zweckmäßig, das Thema selbst zu betrachten, welches uns hier beschäftigen soll, und vor allem eine Definition dafür zu suchen, was man eigentlich heute als kristallinische Schiefer bezeichnet. Wenn man von der rein geologischen Umschreibung des Begriffes absieht, welche die kristallinen Schiefer ohne weitere Überlegung als die ältesten Bildungen unseres Planeten auffaßt, bei welchen der äußerlich mehr oder minder kristallinische und mehr oder minder schiefrige Habitus genügt, um sofort ein mindestens präkambrisches Alter des betreffenden Gesteins festzustellen, so haben wir recht wenige, exakte Definitionen des in Frage stehenden Begriffes.

Diejenige, welche heutzutage der petrographischen Behandlung im allgemeinen ohne weiteres zu Grunde gelegt wird, ist von Rosenbusch formuliert: „Die kristallinen Schiefer sind unter wesentlicher Mitwirkung geodynamischer Phänomene zu geologischer Umgestaltung gelangte Eruptivgesteine oder Sedimente.“ Diese Definition wird, wie es scheint, auch von Becke wie von Grubenmann akzeptiert, und dieselbe ist für die Anhänger des Dynamometamorphismus so recht eigentlich das Fundament geworden, mit welchem auch das ganze Lehrgebäude dieser Schule steht und fällt.

Betrachten wir diesen Lehrsatz also etwas genauer, so tritt in erster Linie das wichtigste und nicht hoch genug zu schätzende Verdienst der Arbeiten von Rosenbusch hervor, welcher von den Grundgedanken Lossens, des Schöpfers des Dynamometamorphismus, ausgehend, zuerst in systematischer und überzeugender Weise dargelegt hat, daß dasjenige, was man mit dem Namen der kristallinen Schiefer bezeichnet hat, ein aus den beiden anderen Gesteinstypen, den Sedimenten und den Eruptivgesteinen, zusammengesetztes Zwittergebilde ist, das also schon aus diesem Grunde nicht als geologische Einheit angesehen werden kann. Wenn wir aber ferner die Gesamtheit dessen, was im allgemeinen mit dem Namen kristallinische Schiefer bezeichnet wird, auf das Charakteristikum einer „Umgestaltung durch geodynamische Phänomene“ genauer untersuchen, so erscheint die Definition Rosenbuschs schon in einem etwas weniger klaren Lichte.

Es ist dabei vor allem festzustellen, welche Erscheinungen uns in gewissem Maße berechtigen, die „Umgestaltung eines Gesteins durch geodynamische Prozesse“ anzunehmen. Solche Anhaltspunkte können zweifellos in verschiedenen Richtungen gefunden werden, einmal in der geologischen Beschaffenheit der betreffenden Gebiete, zweitens in der petrographischen Zusammensetzung und Struktur der Gesteine selbst. Was das erste Kriterium betrifft, so bin ich der

Meinung, daß in dieser Beziehung eine weitgehende Vorsicht angebracht ist. Wenn wir aus den Dislokationen, welche ein bestimmtes Gebiet betroffen haben, aus den Faltungen und Zertrümmerungen der Gesteine, aus den mannigfachen Verwerfungen und Überschiebungen einen Schluß auf das einstmalige Wirken dynamischer Prozesse ziehen, so erbringt eben diese geologische Beschaffenheit einen Beweis dafür, welcher in keiner Richtung angezweifelt werden kann. Sobald wir aber weiter gehen wollen und aus der Tatsache, daß solche Prozesse tätig waren, den Schluß abzuleiten versuchen, daß die als kristallinische Schiefer vorliegenden Gesteine ihre Umgestaltung eben diesen Prozessen verdanken, so kann ich diesem Schluß keineswegs ohne eingehende Untersuchung aller etwa in Betracht kommenden Faktoren zustimmen. Zahlreiche Beobachtungen beweisen, daß selbst die gewaltigsten geodynamischen Phänomene Sedimente und Eruptivgesteine in ihrem petrographischen Habitus völlig unberührt gelassen haben, oder daß sie dieselben in einer Richtung umgebildet haben, welche jener, in der sich die Bildung der kristallinischen Schiefer bewegt, direkt entgegengesetzt ist.

Betrachten wir die Faltungerscheinungen im rheinischen Schiefergebirge oder in den Ardennen, welche stellenweise ganz außerordentlich bedeutend sind, betrachten wir die in engsten Falten zusammengeschobene tertiäre Unterlage der Glarner Überschiebung oder die den verschiedenen paläozoischen und mesozoischen Formationsgliedern angehörigen, durcheinandergepreßten Sedimente der Pyrenäen, so ist das einzige, was nach der uns angelernten Schulmeinung von der „Umgestaltung der Sedimente durch geodynamische Phänomene“ bemerkenswert erscheint, die Beobachtung, daß eben all diese Gesteinsserien ihre ursprüngliche Beschaffenheit vollständig oder doch nahezu vollständig bewahrt haben.

Der hervortretende Unterschied gegenüber von den Sedimenten, welche sich aus den heutigen Meeren absetzen, ist wohl ausschließlich der, daß die rezenten Sedimente lockere, schlammartige Massen sind, während diese stark dislozierten Bildungen eine große Verbandsfestigkeit angenommen haben, ohne aber dabei — und dies muß besonders betont werden — irgendwie weder in Bezug auf den Charakter noch auch auf die Größe der einzelnen, klastischen Bestandteile, welche an ihrer Zusammensetzung teilnehmen, verändert zu sein. Wenn sich auf den Schieferungsflächen transversal geschieferter Tafelschiefer ein serizitischer Belag findet, so darf dieser wohl ebensowenig direkt als Ergebnis der geotektonischen Prozesse selbst angesehen werden, wie die Quarzlinsen und Quarzadern, welche sich in denselben Gesteinen oft in überraschender Fülle einstellen, und die ebenso wie die unter gleichen Verhältnissen weit-

verbreiteten Erzgänge keineswegs ein unter der hohen Belastung gebildetes „Exsudat“ des dynamisch beeinflussten Schiefers darstellen müssen.

Dort, wo durch geodynamische Prozesse das Gefüge der Gesteine zerrüttet ist, wo durch transversale Schieferung, durch Zertrümmerung und Zerreißung der Gesteine allen Agentien Tausende von Wegen eröffnet sind, geht jede Sicherheit in der Deutung der Einzelprozesse verloren. Dafür sind die Erscheinungen der sogenannten Pfahlschiefer und der diesen parallel verlaufenden Zerrüttungszonen des Donaurandes am Bayerischen und Oberpfälzer Wald die bezeichnendsten Beispiele. Die gewaltigen, bis 100 m im Durchmesser aufweisenden Quarzmassen des Pfahls können unmöglich aus den verhältnismäßig schmalen Zonen der veränderten, völlig zertrümmerten Nebengesteine stammen, denn diese haben, trotz ihres oft geradezu tonschieferähnlichen Aussehens die chemische Zusammensetzung des ursprünglichen Granites gewöhnlich völlig gewahrt.

U. d. M. besteht ein solches Gestein oft ausschließlich aus dem feinsten Zerreibungsmaterial der einzelnen Bestandteile des Granites, unter welchen nur die Biotitblättchen fehlen, welche ausgebleicht und zersetzt sind. In anderen Fällen sieht man im Dünnschliff alle durch die Gesteinszermalmung entstandenen feinen Klüftchen ausgekittet mit Quarz oder mit Aggregaten von serizitischer Zusammensetzung, an deren Stelle, namentlich in den sogenannten Winzergraniten der Umgebung von Regensburg, gern Biotit und Nontronit treten, mit deren Bildung die Kaolinisierung und Nontronitisierung des ganzen Gesteins Hand in Hand geht. Solche Erscheinungen aber deuten zweifellos auf eine Begleitung der mechanischen Gesteinszertrümmerung durch kräftige, chemische Reagentien, die fremde Substanzen in größerer Menge den Gesteinen solcher Zerrüttungszonen zuführten, und die auf offenbar juvenile Thermen als Ursprung hinweisen. Wo aber solche chemische Prozesse mitwirken, kann von einer rein mechanischen Umformung und einer „Umgestaltung durch geodynamische Phänomene“ nicht die Rede sein.

Es gibt somit einesteils ausgedehnte Gebiete, in welchen Sedimente der verschiedensten Formationen aufs intensivste disloziert und durch gewaltige, geodynamische Phänomene erschüttert worden sind, wo die verschiedensten Gesteine wie in den Myloniten geradezu durcheinandergeknetet wurden, ohne in ihrer klastischen Beschaffenheit irgendwelche Änderung zu erleiden. Und wenn wir schließlich in solchen Bildungen eine scheinbar kristallinische Beschaffenheit gegenüber dem nicht dislozierten Sediment finden, so ist diese meist nicht sehr tiefgehend und in zahlreichen Fällen sicher nachweisbar chemischen Prozessen zuzuschreiben, die man nicht als das Ergebnis, sondern

nur als Gefolge der dynamischen Umgestaltung ansehen darf, indem durch die Erschütterung der Gesteine eben allen Lösungen der Weg in deren innersten Kern gebahnt wurde. Wo sich aber der Übergang aus solchen nur ganz äußerlich influenzierten Gesteinen in Bildungen vollzieht, welche mehr und mehr zum Habitus kristallinischer Schiefer neigen, da erkennt der aufmerksame Beobachter wohl stets bei mikroskopischer Untersuchung die Gegenwart winziger, aber authigener Turmaline, welche ebenfalls wieder auf andere als rein dynamische Prozesse hinweisen.

Die eigentlich petrographischen Anhaltspunkte, welche man heutzutage für die einstens erfolgte mechanische Umgestaltung eines Gesteins gefunden zu haben glaubt, sind wiederum von zweierlei Art: erstens solche, welche in der Verbiegung und Zertrümmerung der einzelnen Gesteinsbestandteile die Gewalt gebirgsbildender Prozesse deutlich vor Augen treten lassen, und zweitens diejenigen, welche man auf Grund rein theoretischer Ableitungen annehmen zu dürfen sich für berechtigt hält. Es ist die Folgerung aus einem chemisch-physikalischen Grundgesetz, wonach unter hohem Druck die Materie die Tendenz hat, das kleinste Molekularvolumen einzunehmen, das sogenannte Volumgesetz, aus welchem sich die hauptsächlichsten modernen Hypothesen über die Bildung der kristallinen Schiefer ergeben und auf welches weiter unten näher einzugehen ist.

Möge einmal zugegeben werden, daß diese beiden Erscheinungen keinen Zweifel an einer „wesentlichen Mitwirkung geodynamischer Phänomene“ übrig lassen und betrachten wir von diesem Standpunkt aus die Gesamtheit desjenigen, was Geologen und Petrographen von jeher als kristallinische Schiefer bezeichnet haben, und was Rosenbusch selbst in seinen „Grundzügen der Gesteinslehre“ als kristallinische Schiefer zusammenfaßt.

In den Gebieten kristallinischer Schiefer der Zentralalpen trifft man in weitester Verbreitung Vorkommnisse, welche bei der mikroskopischen Beobachtung die ausgesprochensten mechanischen Strukturen aufweisen, in welchen die einzelnen Komponenten in jeder denkbaren Weise deformiert sind, so daß schon auf den ersten Blick dem Mikroskopiker klar wird, daß hier gewaltige Kräfte auf das Gestein eingewirkt und dasselbe zertrümmert haben. Es gibt aber in denselben Gebieten, so z. B. am Groß-Venediger, ausgedehnte Ablagerungen kristallinischer Schiefer, denen jede Spur einer solchen Beeinflussung fehlt; aber auch in diesen sehen wir die Gruppierung der Moleküle nach dem Volumgesetz deutlich in dem hohen Gehalt an spezifisch schweren Mineralien hervortreten, und wir können somit unter Zugrundelegung obiger Prämissen sagen, daß diese Gesteine vermutlich unter „wesentlicher Mitwirkung geo-

dynamischer Phänomene“ kristallisiert sind und somit unter die Definition von Rosenbusch subsumiert werden können.

Betrachten wir aber im Gegensatz dazu z. B. die Kordieritgneise des Bayerischen Waldes, die Gneise, Glimmerschiefer und Amphibolite des Oberpfälzer Waldes und ähnliche Vorkommnisse unserer deutschen Mittelgebirge, so ändert sich das Gesamtbild in wesentlichen Teilen. Es gibt wenige Gesteine von kristallinischer Beschaffenheit, welche so geringe Anzeichen einer Pressung in ihrer Struktur erkennen lassen, wie diese kristallinen Schiefer, in welchen selbst bei intensivster Faltung und Fältelung der Gesteine weder der Quarz noch der Kordierit auch nur Spuren einer undulösen Auslöschung zeigen, in denen niemals im normalen Gestein irgendwelche Zerreibungsprodukte, Mörtelstruktur etc. zu finden ist. Das eine der Kennzeichen einer „wesentlichen Mitwirkung geodynamischer Phänomene“, die mechanische Struktur, fehlt also vollständig; aber ebenso vollständig vermißt man auch das andere, nämlich die Gruppierung der Moleküle nach dem Volumgesetz: es sind nicht die spezifisch schweren Mineralien der alpinen kristallinen Schiefer mit ihrem kleinen Molekularvolumen, sondern im Gegensatz dazu gerade solche mit recht großem Molekularvolumen, wie der Kordierit in den Gneisen des Bayerischen Waldes, der Andalusit und basische Plagioklase in jenen der Oberpfalz, der Wollastonit und Forsterit in den Kalkeinlagerungen beider Gebiete.

Wenn wir die Sache ohne Voreingenommenheit betrachten, müssen wir in Abwägung aller Verhältnisse zu dem Ergebnis kommen, daß diese kristallinen Schiefer in ihrer petrographischen Beschaffenheit überhaupt keinen Anhaltspunkt dafür geben, daß sie unter wesentlicher Mitwirkung geodynamischer Phänomene entstanden sind, ja daß alle petrographischen Eigenschaften derselben mit Sicherheit darauf hinweisen, daß bei ihrer Umkristallisation diese Mitwirkung vollständig fehlte. Diese zweite Weltgruppe der kristallinen Schiefer fällt also nicht unter die Definition von Rosenbusch, sie dürfen bei Zugrundelegung derselben nicht mehr als kristallinische Schiefer bezeichnet werden.

Darüber hilft auch die Aufstellung mehrerer Tiefenstufen der Umkristallisation von Becke nicht hinweg, wobei die untere etwa den zuletzt besprochenen Gesteinen entspricht, während die obere in der Hauptsache die kristallinen Schiefer der zentralen Alpen umfaßt. Selbst die Zuhilfenahme der alten latenten Plastizität von Heim, deren geringe Berechtigung die petrographischen Untersuchungen während 25 Jahren zur Evidenz bewiesen haben, oder die Inanspruchnahme hoher Temperaturen in großen „Rindentiefen“ kann diese rein theoretischen Annahmen nicht beweiskräftig stützen.

Wir wissen im allgemeinen gar nichts über die Tiefe, aus welcher diese Gebiete kristallinischer Schiefer stammen und haben ebensowenig einen Anhaltspunkt dafür, daß jene, welche die Charaktere der alpinen Gesteine zeigen, etwa in geringerer, jene von der Beschaffenheit der Vorkommnisse des Bayerischen Waldes in größerer Tiefe entstanden wären. Alles, was darüber gesagt worden ist, hat kaum die Bedeutung einer rein subjektiven Annahme, weil eben jeder Anhaltspunkt für die Wirkung irgend einer besonderen Kraft während der Kristallisation dieser Gesteine sowohl in ihrer Struktur als auch in ihrer Molekularkombination vermißt wird. Dadurch erledigt sich aber auch die Anfrage von Milch in seinem oben zitierten Referat über meine „spezielle Gesteinskunde“. Nach der klaren Definition von Rosenbusch haben diese Gesteine unter den kristallinen Schiefern keinen Platz. Es handelt sich vielmehr um einen bei petrographischen Theorien leider so weit verbreiteten *circulus vitiosus*, daß die einzige Grundlage einer aufgestellten Theorie eben die Erscheinung ist, welche man durch die Theorie erklären will.

So nimmt man an, daß z. B. die Kordieritgneise des Bayerischen Waldes aus großen Tiefen der Rinde unserer Erde stammen, weil man annimmt, daß deren mineralische und strukturelle Beschaffenheit auf die — nebenbei bemerkt wiederum rein hypothetischen — physikalischen Verhältnisse dieser Tiefen hinweist. Es ist in erster Linie die mehr oder minder vollkommene Übereinstimmung der petrographischen Eigenschaften dieser Gesteine mit echten Kontaktbildungen, die man sich im allgemeinen unter Mitwirkung erhöhter Temperatur in bedeutenden Erdtiefen entstanden denkt, welche zu dieser völlig in der Luft stehenden Hypothese geführt hat. Es bleibt unter allen Umständen feststehend, daß weder in der Struktur noch in der mineralischen Zusammensetzung der zweiten Gruppe der kristallinen Schiefer irgend ein Anhaltspunkt für die wesentliche Mitwirkung geodynamischer Prozesse bei ihrer Umgestaltung vorhanden ist, und ebenso erscheint die Annahme einer Umkristallisation dieser Gesteine in größerer Rindentiefe durchaus willkürlich.

Der Unterschied in der Beschaffenheit der kristallinen Schiefer der Zentralalpen gegenüber von jenen in den meisten unserer Mittelgebirge, welchen man durch die Bezeichnung *alpine* und *normale Fazies* präzisieren kann, wird besonders von F. E. Suess und R. Mrazec herorgehoben. Aber auch ihre Auseinandersetzungen zeigen das Verhältnis derselben durchaus nicht in der Weise, wie man es von zwei Tiefenstufen erwarten sollte; es sind nicht etwa in einem und demselben geologischen Körper ineinander übergehende Bildungen, sondern die beiden Reihen sind mehr oder minder

scharf voneinander getrennt und jede für sich bildet ihre eigene petrographische Provinz.

Wenn F. E. Suess die erste Gruppe, die alpine Fazies, in den Alpen und der morawischen Zone als in jüngeren Kettengebirgen auftretend anführt gegenüber der normalen Fazies des Donau-Moldaugebietes, so ist diese territoriale Trennung doch wohl nicht als Beweis für zwei verschiedene Tiefenstufen anzusehen. Es ist ja zweifellos richtig und liegt in der Natur der Sache, daß, je älter ein Gebirge ist, zu desto größerer Tiefe es aufgeschlossen zu sein pflegt, und die Grundlage des Ganzen, die intrusiven, meist granitischen Kerne treten daher in den alten Gebirgen, so in Fennoskandien, Kanada, im böhmischen Massiv etc. in viel kompakteren und ausgedehnteren Massen hervor als in den meisten der jüngeren Gebirge. Allerdings darf man diesen Unterschied nicht allzu bedeutend nehmen, denn einzelne unserer zentralalpinen Granitmassen sind sicher zu den gewaltigsten zu zählen.

Aber man sollte nun denken, da zwei verschiedene Tiefenstufen vorliegen, man würde in der alpinen Fazies bei den so außerordentlich verschieden tiefen Aufschlüssen in den verschiedenen Teilen der Zentralalpen doch wenigstens einmal zufällig auch einen Übergang in die tiefere normale Fazies beobachten. Doch davon ist nichts zu finden, wenn auch F. E. Suess¹⁾ sagt: „Kordierit und Sillimanit treten in den östlichen Zentralalpen als Kontaktgesteine nicht auf oder sind in ihrem Vorkommen auf schmälere Züge in der Nähe der Intrusivmassen beschränkt.“ Es würde mir sehr interessant sein, zu erfahren, wo in den Zentralalpen diese schmälere Züge sich befinden, mir persönlich ist aus keinem Gebiet der Zentralalpen vom ligurischen Apennin angefangen bis in die Ausläufer in Rumänien der Kordierit als Kontaktmineral bekannt geworden; was außerhalb der Zentralzone selbst liegt, kommt hier nicht in Betracht. Wohl aber erscheint das Mineral und zwar vergesellschaftet mit seinem treuesten Begleiter, dem Andalusit, in gewissen zentralalpinen Pegmatiten, welche wiederum darauf hinweisen, daß in der Periode postvulkanischer Tätigkeit hier die Spannung mehr und mehr nachließ.

Andernteils müßte, wenn man aus den tiefer aufgeschlossenen Teilen der alten Gebirge, der unteren Tiefenstufe, allmählich in höhere Horizonte übergeht, doch ein dem Unterschied der alpinen Fazies analoger Wechsel eintreten, da dieser der oberen Tiefenstufe entspricht. Nichts von alledem! Die beiden

¹⁾ F. E. Suess, Kristallinische Schiefer Österreichs innerhalb und außerhalb der Alpen. C. R. IX. congr. géol. intern. 1903, p. 603. Im Original fehlt das Wort „nicht“, das von mir ergänzt ist, da der Satz nach dem ganzen Zusammenhang nur so gedacht sein kann. Übrigens sind weder Kordierit noch Sillimanit als Gestein, sondern vielmehr als Mineralien zu bezeichnen.

Fazies gehören stets verschiedenen Provinzen an und sind nicht durch Tiefenunterschiede miteinander verbunden.

Wenn also Rosenbusch seine am Anfang wiedergegebene Definition dem Kapitel über die kristallinen Schiefer vorausstellt, so kann er unter diesem Begriff nur einen Teil der allgemein als kristallinische Schiefer bezeichneten Bildungen zusammenfassen; jenen, in welchen Struktur und Mineralbestand auf das Wirken geodynamischer Phänomene hinweisen, d. h. die alpine Fazies. Der Versuch, auch die andere, viel weiter verbreitete Gruppe durch die Konstruktion einer besonderen Tiefenstufe unter dieselbe Definition zu zwingen, muß als völlig in der Luft stehend bezeichnet werden, da alle Voraussetzungen dieser Tiefenstufe rein hypothetisch sind. Ja wenn man die Erscheinungen ohne Voreingenommenheit betrachtet, so tritt in der Ausbildung wie in der Zusammensetzung der zweiten Gruppe der „kristallinen Schiefer“ klar zutage, daß hier geodynamische Phänomene auch während der Umwandlung keine irgendwie geartete Rolle gespielt haben können. Ich halte mich daher für berechtigt zu dem Satz, daß die einzige Definition, welche heutzutage in Kreisen der Petrographen für die kristallinen Schiefer angenommen ist, die Hauptmasse derselben direkt ausschließt.

Für die hier angeführten Erwägungen kommt nun aber noch eine weitere Erscheinung in Betracht: die beiden Extreme der Ausbildung der kristallinen Schiefer, welche oben als alpine und normale Fazies getrennt wurden, trifft man zwar nirgends in einem und demselben Gebiete beisammen im Verhältnis etwa von zwei verschiedenen Tiefenstufen, aber trotzdem gibt es Übergänge zwischen denselben, die wiederum in selbständigen petrographischen Provinzen auftretend in erster Linie den Wert haben, uns die geologische Gleichwertigkeit der beiden Faziesbildungen vor Augen zu führen. Ein typisches derartiges Mittelglied zwischen alpiner und normaler Fazies sind z. B. die Glimmerschiefer und Phyllite der Umgebung von Wunsiedel im Fichtelgebirge, in welchen sich die typischen Minerale beider Gruppen zusammenfinden, allerdings wiederum nicht als verschiedene Tiefenstufen, sondern in bunter, regelloser Mischung.

Es handelt sich also bei beiden Gruppen kristallinischer Schiefer um geologisch völlig äquivalente Bildungen und man wird Becke Recht geben müssen, wenn dieser ihre Entstehung wohl definierbaren geologischen Prozessen zuschreibt, „die man ebenso gut als selbständige geologische Vorgänge auffassen kann wie die Bildung eines Sediments oder eines Eruptivgesteins“. Vom Standpunkt des Dynamometamorphismus kann dafür allerdings nur jener Teil in Betracht kommen, der oben als

alpine Fazies charakterisiert wurde, die Folge aber wird ergeben, daß sich tatsächlich Gesichtspunkte finden lassen, welche den Satz von Becke als für die Hauptmasse der kristallinen Schiefer gültig erweisen.

Was man heutzutage als kristallinische Schiefer zusammenfaßt, ist auf den ersten Blick ein recht kompliziertes Gebilde, in welchem, wie schon oben angeführt, die Typen der Eruptivgesteine und der Sedimente sich als Extreme gegenüberstehen und deren verbreitetste und wichtigste Glieder eine Metamorphose, d. h. eine innere molekulare Umlagerung erlitten haben, welche häufig, aber durchaus nicht immer mit der Entstehung einer Schieferstruktur Hand in Hand geht. Das Auftreten und der Grad der Ausbildung einer Schieferstruktur ist in der alpinen Fazies viel ausgeprägter als in der normalen, und man darf in ihr ein Anzeichen der Wirksamkeit geodynamischer Phänomene sehen.

Andernteils gibt es aber auch „kristallinische Schiefer“, ¹⁾ welche ohne jeden Zweifel keine spätere molekulare Umwandlung mitgemacht haben, sondern Eruptivgesteine von ursprünglicher Beschaffenheit sind, die nur wegen einer mehr oder weniger ausgeprägten Parallelstruktur als kristallinische Schiefer bezeichnet wurden.

Wenn wir z. B. die Hornblendegneise der Oberpfalz und des Fichtelgebirges betrachten, so sind das in ihrem ganzen Gefüge normale Granite, welche am Kontakt mit Schollen älterer, basischer Eruptivgesteine von deren Material aufgelöst und sich dann schlierig verfestigt haben. Und solche durch Resorption schlierig gewordene Granite, welche aber zweifellos das ursprüngliche Resultat der Verfestigung darstellen, gibt es in weitester Verbreitung, bald mit mehr bald mit weniger vollkommener Parallelstruktur. Lokal entwickelt sich selbst in ganz normalen Graniten eine dem Phänomen der Fluidalstruktur analoge Parallelstruktur, ohne daß, abgesehen von der parallelen Lagerung der Glimmerblättchen oder Feldspat tafeln, weder in der mineralischen Zusammensetzung noch in der Struktur irgend eine Abweichung von dem normalen Granit zu erkennen wäre.

Und wenn wir vollends in die zentralalpine Fazies der kristallinen Schiefer kommen, so tritt uns hier das granitische Zentralmassiv manchmal in gewaltigen Massen in schiefriger Ausbildung entgegen, wobei die mikro-

¹⁾ Bei der Fassung des Begriffes „kristallinische Schiefer“ schließe ich mich in diesem Zusammenhang an die wichtigsten Lehrbücher der Geologie und Petrographie an. Wenn diese unter dem in Frage stehenden Begriff die völlig richtungslos strukturierten Eklogite des Fichtelgebirges z. B. subsumieren, so ist das eine Lizenz an das Herkommen, jedenfalls aber müssen die „Gneise“ der schwedischen Literatur, welche meist absolut richtungslose Granite sind, ausscheiden.

skopische Untersuchung keinen Zweifel daran übrig läßt, daß diese Parallelstruktur ursprünglich bei der Verfestigung des Gesteins entstanden ist.

Der ganz ungeheuerliche Mechanismus, welchen die Theoretiker des Dynamometamorphismus zur Erklärung dieser Erscheinung heranziehen, läßt sich etwa so darstellen, daß die betreffenden Gesteine ursprünglich normale Granite von richtungslos körniger Struktur gewesen sind, welche später in einem ganz beliebigen, von der Intrusion des Eruptivgesteins völlig unabhängigen Zeitpunkt unter hohen Druck gekommen sind, der aber nicht sowohl zermalmend auf die einzelnen Gesteinsgemengteile einwirkte, sondern infolge der gewaltigen Belastung in großer Rindentiefe nur molekulare Bewegungen auslöste und so sekundär die Schieferung als sogenannte Kristallisationsschieferung oder vielleicht besser Umkristallisationsschieferung hervorbrachte.

Es werden in dieser Richtung die chemisch-physikalischen Untersuchungen von Riecke herangezogen, welcher nachwies, daß durch longitudinalen Zug oder Druck der Schmelzpunkt aller Körper, gleichgültig, ob sie beim Schmelzen ihr Volumen vergrößern oder verkleinern, herabgesetzt und damit auch ihre Löslichkeit vermehrt wird; hat man also in einer konzentrierten Lösung zwei Prismen derselben Substanz, welche die Lösung enthält, und setzt eines derselben einem longitudinalen Zug oder Druck aus, so wird es von der Lösung angegriffen. Dadurch vermehrt sich deren Konzentration, sie übersättigt sich für das zweite, nicht mechanisch beeinflusste Prisma, und das Gleichgewicht wird durch Weiterwachsen dieses zweiten Prismas auf Kosten des deformierten wiederhergestellt.

Dieses Riecke'sche Prinzip wendet Becke nun auf die Bildung der kristallinen Schiefer an: In einem gepreßten Gestein erleiden die verschiedenen Oberflächenelemente der einzelnen Körner ein verschiedenes Maß von Pressung, am stärksten werden jene gepreßt, welche quer zur Pressung liegen, am wenigsten solche, deren Verlauf der Pressungsrichtung parallel ist. Es werden also die stärkst gepreßten Stellen der Körner gelöst und die Substanz an den schwächst gepreßten wieder abgelagert, oder die einzelnen Körner werden in der Richtung der Pressung verkürzt, in jener senkrecht dazu durch Weiterwachsen ausgedehnt. Die in ihrem normalen Habitus taflichen oder stengligen Mineralien behalten diesen nur dann, wenn ihre Hauptzone zufällig senkrecht zur Richtung des Druckes liegt. In allen anderen Fällen verwischt sich ihre normale Erscheinungsform und sie bilden meist stark zerfetzte, mehr oder weniger isometrische Körner.

Voraussetzung für all diese Prozesse ist, wie Becke richtig hervorhebt, daß „entweder das Gestein eine so hohe Temperatur besitze, daß die Erniedrigung des Schmelzpunktes durch Pressung tatsächlich ein Abschmelzen an den Druckstellen bewirkt, oder daß das Gestein von einem Lösungsmittel durchzogen sei, welches auf den kapillaren Räumen zwischen den Gemengteilen zirkuliert, wohl auch diese selbst auf Klüften durchdringt, vielleicht sogar spurenweise intermolekular in ihnen vorhanden ist und sich als eine gesättigte Lösung der sämtlichen Gesteinsgemengteile für die herrschenden Temperatur- und Druckverhältnisse darstellt“. Es ist zweifellos, daß eines dieser beiden Verhältnisse vorhanden sein muß, wenn man das Riecke'sche Prinzip für die Umwandlung der Gesteine überhaupt in Anspruch nehmen will. Die direkt auf obigen folgenden Sätze von Becke sind aber wiederum rein hypothetisch: „Diese Vorstellung dürfte um so weniger eine Schwierigkeit haben, als kleine Mengen von Wasser in dem Ausgangsmaterial der kristallinen Schiefer stets vorhanden sein müssen. Handelt es sich um ein Intrusivgestein und schließt sich die Phase der Kristallisationsmetamorphose unmittelbar an die magmatische Erstarrungsphase an, so sind ganz gewiß Reste des „juvenilen“ Wassers und andere Mineralisatoren von der Intrusion her vorhanden. Handelt es sich um ein ursprüngliches Sediment, so sind hinreichende Mengen gebundenen Wassers in den seinerzeit abgelagerten Sedimentmassen vorhanden. Tonschiefer, Mergel u. s. w. enthalten ja immer mehrere Prozent gebundenen Wassers, welches bei Erhöhung der Temperatur unter Druck durch Dissoziation ausgetrieben als imprägnierendes Lösungsmittel dienen kann. Bekannt ist ferner, daß frisch gebrochene Gesteine aus irgend einem Teil der uns zugänglichen Erdrinde stets einen geringen Wassergehalt zeigen, welcher wenn er selbst nur einige Zehntel Prozent beträgt, hinreicht, um, auf den Grenzen der Körner zirkulierend, die Umsetzungen zu vermitteln.“

In diesen Überlegungen liegt eine für mich besonders bemerkenswerte Erscheinung, da sich Becke damit der von mir aufgestellten und stets verfochtenen Theorie der Piëzokristallisation in hohem Maße nähert, ganz im Gegensatz zu dessen früher ausgesprochenen Erklärungen über die Auffassung dieser Prozesse. Wenn Becke in obigen Ausführungen die Periode der dynamometamorphen Umbildung sich direkt an die magmatische Erstarrungsphase der zentralalpinen Granite anschließen läßt und als Agentien der Umwandlung selbst noch die juvenilen Wässer des Magmas mit ihrer erhöhten Temperatur etc. in Anspruch nimmt, so hat er meines Erachtens eine so eingreifende Revision seiner früheren Anschauungen über diesen Prozeß vollzogen, daß ihn nur noch eine kleine Phase der

Weiterentwicklung von der Annahme meiner Theorie der „Piëzokristallisation“ trennt.

Wenn ich also auch ziemlich sicher sein kann, daß der natürliche Prozeß der Entwicklung selbst unsere Einigung auf der Grundlage der von mir aufgestellten Theorie ergeben wird, so kann ich es doch nicht unterlassen, schon hier darauf hinzuweisen, daß überhaupt kein irgend haltbarer Grund vorhanden ist, den Doppelprozeß der magmatischen Erstarrung und der Kristallisationsschieferung anzunehmen. Es gibt in der petrographischen Beschaffenheit der in Betracht kommenden Zentralgranite überhaupt keine Erscheinung, welche diesen Doppelprozeß nahelegen würde; die petrographischen Eigenschaften derselben lassen sich vielmehr viel einfacher und ungezwungener aus einer einfachen Verfestigung des Magmas unter hohem Druck aus der Piëzokristallisation ableiten. Der noch bleibende Rest eines Unterschiedes unserer Anschauungen ist vielmehr nur in den rein geologischen Erörterungen begründet, welche den Graniten der Zentralalpen ein verhältnismäßig hohes geologisches Alter vindizieren wollen. In den speziell den Arbeiten Beckes zu Grunde liegenden Gebieten des Zillertals und der Hohen Tauern sind aber selbst die geringsten Anzeichen, welche zur Aufstellung einer solchen Hypothese verwendet werden könnten, nicht vorhanden und die Erscheinungen in anderen Teilen der Zentralkette weisen, wie weiter unten gezeigt wird, auf das gerade Gegenteil hin.

Übrigens kann es sich bei der ganzen Frage überhaupt nicht um die Feststellung des Anfangs oder des Abschlusses der Verfestigung der granitischen Gesteine handeln, welche doch wohl nicht diese Stadien erst im Verlauf ganzer geologischer Formationsgruppen durchlaufen haben. Es handelt sich vielmehr darum, daß die Verfestigung der Granite und ihre Umwandlung zu dem „kristallinen Schiefer“ je für sich selbständige und völlig abgeschlossene Prozesse darstellen, welche ja vielleicht zufällig einander zeitlich nahezurücken können, im allgemeinen einander aber völlig fremd gegenüberstehen. Da nun meine Ableitungen über die Piëzokristallisation keineswegs auf ein einzelnes Vorkommen beschränkt sind, bei dem man ein solches zufälliges Zusammentreffen annehmen könnte, sondern sich auf eine sehr verbreitete Weltgruppe von Vorkommnissen beziehen, die man in fast allen Faltengebirgen wiederfindet, so kann wohl der Zufall als Faktor unberücksichtigt bleiben.

Die älteste Behandlung der Frage nach der Entstehung der kristallinen Schiefer, welche aber trotz der ganz verschiedenartigen Gesichtspunkte, von welchen dieselbe heute betrachtet wird, noch allenthalben durchblickt, ist die

stratigraphische. Die geologische Formation der kristallinen Schiefer ist von den Vätern ererbt und, wie die Referate des jüngsten Geologenkongresses zeigen, liegen auch heute noch viele im Banne dieser Hypothese, und trotzdem sie eigentlich von ganz modernem Standpunkt ausgehen, vermögen sie sich nicht davon frei zu machen. Maßgebend für die Zuteilung eines bestimmten Gesteinskomplexes zu der ein bestimmtes Altersverhältnis bedingenden geologischen Formation wird hier der petrographische Habitus des Gesteins, obwohl der betreffende Autor selbst auf Grund seiner petrographischen Untersuchungen sich zu dem unzweifelhaft richtigen Satz durchgearbeitet hat, daß der petrographische Habitus nie und nirgend der Ausdruck des geologischen Alters sein kann.

Wer erkannt hat, daß das, was man unter dem Begriff „kristalline Schiefer“ zusammenfaßt, nichts weiter ist als sozusagen eine pathologische Fazies irgend eines Gesteinstypus aus den beiden anderen Reihen, den Eruptivgesteinen und den Sedimenten, der kann doch wohl nicht in diesem Zustand ein historisches Einteilungsprinzip erblicken, es sei denn, er kehrt zu den allerältesten, in jeder Weise widerlegten Theorien zurück, daß diese Gesteinsveränderungen etwa dem Altern des menschlichen Körpers vergleichbar, ausschließlich in der hohen Zahl der Jahrmlionen begründet sind, welche über die Gesteine dahingegangen sind.

Wenn somit Sederholm¹⁾ in seinem Vortrag auf dem Wiener Kongreß diese rein stratigraphische Behandlung der Frage in der Weise formuliert, daß bei Abwesenheit von Fossilien „die Alterseinteilung eine Reihe von stufenweise gesteigertem Metamorphismus sein muß, so nimmt er diesem mit solcher Sicherheit ausgesprochenen Satz in demselben Vortrag viel von seiner Prägnanz, wenn er sagt: „Die Stärke der Umwandlung der Diabas- und Peridotitgesteine ist aber keineswegs immer proportional mit dem geologischen Alter, sondern zeigt in dieser Beziehung auffallende Unregelmäßigkeiten.“ Obwohl der Autor vollkommen klar überblickt, daß die von mir so oft in den Vordergrund gestellte Erscheinung kontaktmetamorpher Umwandlung und Injektion durch Intrusivmassen den petrographischen Habitus wenigstens bei einem nicht geringen Bruchteil der „kristallinen Schiefer“ in erster Linie ergibt, steht er doch so weit in den Fesseln der älteren Anschauung, daß er selbst gewisse Strukturen von Eruptivgesteinen für historische Kennzeichen ansehen möchte.

¹⁾ J. J. Sederholm, Über den gegenwärtigen Stand unserer Kenntnis der kristallinen Schiefer von Finnland. C. R. IX. congr. géol. intern., Wien 1903, 609. Die Sperrungen in den Zitaten sind größtenteils von mir eingeführt.

Aber auch dagegen findet er selbst deutliche Beweise und das Vorkommen von Geröllen von Rapakiwi in einem „präkambrischen“ Bodenkonglomerat zwingt ihn zu der Bemerkung, „daß somit das Vorkommen ähnlicher Strukturformen in paläozoischen Eruptivgesteinen als kein Beweis für das paläozoische Alter des Rapakiwi angesehen werden kann“.

Mineralbestand und Struktur eines Gesteins sind der Ausdruck der chemisch-physikalischen Bedingungen während seines Werdeprozesses. Die Gesetze der Chemie und Physik aber, welche wir so in ihren Ergebnissen erkennen lernen, sind ewig und unabänderlich, und hier ist eine historische Entwicklung einfach undenkbar. Man darf somit auch in Mineralbestand und Struktur irgend eines Gesteins kein historisches Einleitungsprinzip suchen und niemals den Begriff einer geologischen Formation auf rein petrographischen Erscheinungsformen begründen. Es muß ja anerkannt werden, daß es in höchstem Grade schwierig ist, dort, wo die Fossilien fehlen, eine den übrigen Formationen äquivalente Gliederung durchzuführen. Es kommt noch hinzu, daß wir nun einmal in der Anschauung aufgewachsen sind, als wäre die kristallinische Beschaffenheit einer Gesteinsserie eben der Ausdruck eines besonders hohen Alters. Demgegenüber erscheint es doch wohl viel nützlicher, offen zuzugestehen, daß wir heutzutage noch nicht imstande sind, diese Gebilde geologisch zu gliedern, als dieselben in ein System zu zwingen, welches den Tatsachen nicht gerecht wird und doch mit der Anmaßung auftritt, den natürlichen Verhältnissen entsprechend zu sein.

Das, was Gumbel seinerzeit als bojisch oder herzynisch bezeichnete, wird so neuerdings von Sederholm ladogisch oder kalevisch genannt. Wie im Bayerischen Wald, so trifft man in Finnland in den oberen „Etagen der Gneisformation“ die Adergneise oder injizierten Schiefer, deren petrographische Bedeutung Sederholm völlig richtig auffaßt. Die Erscheinungsform dieser Gesteine ist ja allerdings so auffallend und charakteristisch, daß jeder Petrograph, der in solchen Gebieten arbeitet, erkennen muß, daß hier zwei ganz verschiedene Gesteine in Vermischung miteinander getreten sind, und daß die lichten Adern des aplitartigen Granits den dunkeln Fetzen und Schollen des Hornfelses als diametral verschiedene Bildungen gegenüberstehen.

Und wie mannigfach ist die Form dieser Aderung, von einfacher, dünn-schichtiger Wechsellagerung bis zu geradezu gekröseartiger Durchknetung der beiden Materialien, wobei aber immer der Charakter des einstigen Sedimentgesteins das vorher vorhandene, jener des Granits das später eingedrungene Gebilde kennzeichnet, bis bei mehr oder minder vollständiger Durchtränkung mit dem eruptiven Magma die Grenzen immer undeutlicher werden und

schließlich beide Bildungen zu einer schwierig deutbaren Einheit verschwimmen! Wer aber ausgedehntere Gebiete solcher Gesteine gesehen hat, dem kann die petrographische Einheitlichkeit all dieser Bildungen keineswegs zweifelhaft sein und wenn die lichten, dem Granitaplit in ihrer Zusammensetzung und Struktur völlig entsprechenden Bänder das durchtränkte Sediment auch in den mannigfachsten Windungen parallel und quer zur Schichtung durchziehen oder wenn schließlich beide Gesteinstypen nicht mehr auseinandergehalten werden können, so liegt doch an zahllosen Punkten der Übergang der normalen Apophysen des Granites in diesen zusammengesetzten Gesteinen klar und deutlich vor Augen.

Die eruptive Durchaderung in solchen Gebilden hat ja oft manches Abweichende von der gewöhnlichen Gangbildung, welche wir im großen Maßstab beobachten und namentlich die Unregelmäßigkeit und oft gekröseähnlichen Windungen der Injektionsadern sind häufig scharf hervortretende Erscheinungen. Wenn man aber bedenkt, unter welchen äußeren Verhältnissen diese Injektionen vor sich gegangen sind, wie die von der Intrusion erschütterten und zerrissenen Sedimente noch, nachdem sie die injizierenden Massen des Eruptivgesteins aufgenommen hatten, keineswegs ein Ruhestadium erreicht hatten, sondern von den vom Intrusivgestein abgegebenen Gasen und Dämpfen durchtränkt, bei der erhöhten Temperatur eine bedeutend größere Beweglichkeit und oft geradezu plastische Beschaffenheit angenommen hatten, so kann die Unregelmäßigkeit dieser Formen keineswegs überraschen. Erst mit dem Nachlassen der vulkanischen Energie ließ auch diese Beweglichkeit der jetzt allmählich zu kristallinen Bildungen werdenden Sedimente nach und die injizierenden Aplite, welche all unseren Erfahrungen nach den allerletzten Phasen der magmatischen Erstarrung angehören, erfüllen nun Räume, deren komplizierte Formen, zumal im Hinblick auf den fast ständigen Mangel mechanischer Strukturen in diesen Gesteinen, recht schwer verständlich erscheinen.

Legt ja selbst Sauer¹⁾ auf den Gegensatz zwischen der gewundenen Form dieser Injektionen und ihrem Mangel an Kataklassen ein besonderes Gewicht, so daß er sie nicht für gefaltete Gänge ansehen möchte. In dem von ihm angenommenen Sinne sind sie ja das auch nicht, denn die Struktur der überwiegenden Mehrheit der oft so intensiv gefalteten Gänge weist auch nicht die Spur einer mechanischen Einwirkung auf, wie sie vorhanden sein müßten, wenn das sie erfüllende Gestein in festem Zustand solche Bewegungen hätte durchmachen müssen. Diese Bildungen wurden eben gefaltet, als noch die

¹⁾ A. Sauer, Das alte Grundgebirge Deutschlands. C. R. IX. congr. géol. intern., Wien, 1903, 587.

ganze Masse, in der sie eingebettet sind, beweglich war und ihre Verfestigung ist wohl überhaupt die letzte Phase in der ganzen Reihe der in Betracht kommenden Erscheinungen.

Die häufige Beobachtung, daß diese Injektionsadern bald Bestandteile aus dem Nebengestein auflösen und so z. B. Granat oder Kordierit führen oder daß massenhaft Turmalin in ihnen auftritt, ist für ihre Auffassung gleichfalls von grundlegender Bedeutung, zumal sie beim Hervortreten des letzteren Minerals gerne Struktur und Korngröße eines Pegmatits annehmen. Indes faßt Sauer gerade diese pegmatitisch ausgebildeten Adern, die am häufigsten zu Linsenform zusammengeschnürt in den Schichtflächen der kontaktmetamorphen Gesteine liegen, als zweifellos integrierende Bestandteile der „Sedimentgneise“ auf. Bei dieser Anschauung über die Bedeutung der einzelnen Teile dieser Gneise kann es nur auffallen, daß derselbe Autor anerkennt, daß es sich bei den von mir beschriebenen „Kordieritgneisen“ des Silberberges bei Bodenmais um wirklich injizierte Schiefer handelt. Wenn er aber versucht, um den Begriff des „archaischen Gneises“ zu retten, den von mir untersuchten Gesteinen die Schuppengneise des Arbers oder jene der Umgebung von Passau als Äquivalent der sogenannten Renschgneise des Schwarzwaldes entgegenzustellen, so kann ich ihm da unmöglich Recht geben, denn diese Vorkommnisse sind durchaus identisch mit jenen vom Silberberg. Allerdings ist zu bemerken, daß solche Gebiete injizierter Schiefer sich gewöhnlich durch eine außerordentliche Abwechslung des Gesteinshabitus auszeichnen, und man so aus den verschiedenen Gebieten leicht einzelne Stücke bekommen kann, welche mit jenen aus den anderen wenig übereinzustimmen scheinen, trotzdem die ganzen Komplexe gleichen Grundzug zeigen.

Bemerkenswert erscheint in den Ausführungen von Sauer ferner auf der einen Seite die Beobachtung, daß die Struktur seiner „Sedimentgneise“ jener der Hornfelse ähnlich ist, auf der anderen Seite, daß er die Knotenschiefer, deren Knoten Granat sind, als bezeichnende, genetisch übereinstimmende Bildungen seiner Gneisformation den gewöhnlich als Knotenschiefer bezeichneten Bildungen gegenüberstellt, deren Knoten Kordierit seien. Es braucht dem wohl nur entgegengestellt werden, daß in den von Sauer als kontaktmetamorph anerkannten „Gneisen“ des Silberbergs Kordierit und Granat sich fortgesetzt in wechselnden Mengen vertreten und echte Kordieritgneise mit echten Granatgneisen in hundertmaliger Wiederholung abwechseln.

Alle Versuche, auf Grund gewisser petrographischer Eigentümlichkeiten die „archaischen kristallinen Schiefer“ als Formationsgruppe zu definieren und in einzelne Etagen zu gliedern, führen nur zu dem einen

Ergebnis, daß, je eingehender die petrographischen Untersuchungen solcher Gesteinskomplexe ausgeführt werden, um so klarer die Erscheinung vor Augen tritt, daß in Struktur und mineralischer Zusammensetzung eine Trennung derselben gegenüber von schiefrigen Eruptivgesteinen resp. umgewandelten Eruptivgesteinen und Sedimenten nicht festgehalten werden kann. Wenn wir aber z. B. in Struktur und Mineralbestand der sogenannten Sedimentgneise der supponierten archaischen Formation keinen Unterschied finden gegenüber von solchen Bildungen, welche nachweislich zu irgend einem von der Periode ihrer Sedimentierung selbst ganz beliebig entfernten Zeitpunkt eine innere Umkristallisation erfahren haben, so können wir in diesen petrographischen Grundzügen doch unmöglich ein Prinzip finden, aus welchem die Altersbeziehungen dieser Gesteine sich ableiten lassen sollten. Es gibt also keine Möglichkeit, um den Satz herumzukommen, daß geologisches Alter und petrographische Beschaffenheit keine Beziehungen zueinander haben.

Wenn eine derartige geologische Klassifikation auf rein petrographischen Grundsätzen begründet werden soll, so wird der Petrograph doch wohl stets im Rechte sein, wenn er verlangt, daß diejenigen petrographischen Gesichtspunkte genauer präzisiert werden, auf Grund deren es möglich wäre, „archaische“ kristallinische Schiefer von „jüngeren“ kristallinischen Schiefern definitiv zu unterscheiden. Mir ist irgend ein Anhaltspunkt, welcher die petrographische Beschaffenheit der Gesteine selbst berücksichtigen würde, — also nicht die Lagerungsverhältnisse oder zufällige Fossilführung betrifft — bis jetzt nicht bekannt geworden, trotzdem aber wird in der Geologie auch heute noch ausschließlich in der petrographischen Beschaffenheit das zusammenschließende Prinzip der archaischen Formation gesucht. Gerade als ob nicht vor schon hundert Jahren die Belemniten in den kristallinischen Schiefern der Schweiz aufgefunden worden wären, auf Grund deren diese speziellen Vorkommnisse ganz im Gegensatz zu ihrer petrographischen Beschaffenheit als verhältnismäßig junge Bildungen anerkannt werden mußten.

Dieses geologische Einteilungsprinzip wird in etwas modifizierter Form auch von der französischen Schule aufrecht erhalten. P. Termier, der Sprecher der Franzosen auf dem jüngsten Geologenkongreß, sagt zwar, daß er Seite an Seite mit dem Autor kämpft, aber dies gilt nur insoweit, als es die Ablehnung des Dynamometamorphismus betrifft. Seine historische, geologische Einteilung der kristallinischen Schiefer der französischen Alpen steht wenigstens in ausgesprochenem Gegensatz zu meinen ausgedehnten Erfahrungen, welche zwar in der Hauptsache die Ostalpen umfassen, sich aber auch in nicht allzu geringem

Maße auf die Westalpen und speziell die französischen Alpen erstrecken. Termier teilt die kristallinen Schiefer der Westalpen in drei Teile, von welchen der erste, „die erste alpine Zone“, für älter als Karbon anzusehen sein würde, das „terrain primitif“, dessen kristallinischer Habitus und injizierte Beschaffenheit als älter angesehen wird als die zahlreichen granitischen Massive des Pelvoux, des Aarmassivs, des Montblancs etc., die innerhalb derselben auftreten. Die schon früher vergneisten Zonen sind zwar nicht allenthalben am Granitkontakt vorhanden, aber auf diesen beschränkt. Woher die Anhaltspunkte dafür genommen werden, daß diese Gesteine schon umgewandelt waren, als der Granit kam, konnte ich leider aus den Ausführungen von Termier, wie aus der übrigen französischen Literatur nicht entnehmen.

Die zweite Zone, mit der ersten fast genau in petrographischer Beziehung übereinstimmend, soll permo-karbonisch sein, und bildet namentlich im Osten die mächtige kristallinische Basis der Trias, wobei in beiden die kristallinische Beschaffenheit von West nach Ost zunimmt. Endlich folgt die Zone der schistes lustrés, welche jünger als obere Trias ist und vielleicht bis zum Eozän reichen soll. Hier tritt insofern ein merklicher Unterschied gegen die beiden älteren Zonen ein, als Kalkglimmerschiefer, manchmal mit fossilführenden Kalken, und Grünschiefer die Hauptrolle spielen und „porphyrischer Gneis“ in den Hintergrund tritt, während Gneis und Glimmerschiefer in den beiden ersten Zonen herrschend sind. Des ferneren lagern zwischen der zweiten und dritten Zone konkordante, nicht veränderte Kalke der mittleren und unteren Trias, welche aber gegen Norden zu auch kristallinisch werden.

Die maßgebenden geologischen Gesichtspunkte für diese Dreiteilung kann ich leider zu wenig beurteilen, da meine Studien sich vorherrschend auf die Ostalpen beziehen, in denen dieselbe sicher nicht aufrecht erhalten werden kann. Indes glaube ich nicht allzu sehr zu irren, wenn ich behaupte, daß in den Ostalpen sowohl als in den Westalpen der Grad der Umwandlung der Gesteine viel weniger mit ihrem geologischen Alter als mit ganz anderen Faktoren zusammenhängt. Sind doch z. B. am Groß-Venediger und in den Niederen Tauern Gesteine, welche im petrographischen Charakter ganz vollkommen mit der dritten alpinen Zone Termiers übereinstimmen, zweifellos paläozoischen Alters, in letzterem Gebiete noch dazu durch prächtige Funde von karbonischen Pflanzen in ihrem Horizont als oberstes Karbon direkt festzustellen. Und die erste und zweite Zone der alpinen kristallinen Schiefer

lassen sich auch nach den Schilderungen von Termier petrographisch nicht unterscheiden.

Wenn Termier dann erwähnt, daß im Flysch des Briançonnais schon Gerölle seiner dritten Zone sich finden, welche denselben Habitus wie die jetzt anstehenden Gesteine aufweisen und er daraus einen Beweis gegen den Dynamomorphismus ableitet, so kann ich auch diesem Argument keineswegs zustimmen. Gibt es ja doch genug Beobachtungen, welche direkt beweisend sind, daß die Gebirgsbewegungen, deren schließliches Resultat die Tektonik unserer Alpen ist, keineswegs ausschließlich in der allerjüngsten Zeit vor sich gingen, bis zu welcher Termier das ganze Gebiet als ungefaltete betrachtet wissen möchte. Die Faltungen, welche die Alpen schon im Paläozoikum und Mesozoikum betroffen haben, könnten aber ebenso gut eine Dynamometamorphose dieser Gesteine bewirkt haben wie die jüngeren und z. T. allerdings viel bedeutenderen Faltungen. Jedenfalls erscheinen so die Darlegungen von Termier nach mehr als einer Seite einer schärferen Definition bedürftig.

Gegenüber von all diesen verschiedenartigen Versuchen, die kristallinen Schiefer speziell in den Alpen dem Verständnis näher zu rücken, habe ich schon vor Jahren auf Grund meiner Beobachtungen im Groß-Venedigerstocke die Theorie der Piëzokristallisation aufgestellt. Es dürfte hier der geeignete Platz sein, die Grundlagen dieser Theorie noch einmal eingehender darzulegen, zumal dieselben im Laufe der Jahre von den verschiedensten Seiten eine irrtümliche Deutung erfahren hat. Die Annahme, daß sich die Intrusion und Verfestigung der zentralalpinen Granitmassen unter orientiertem Druck während der Faltung des Gebirges vollzog, wurde hin und wieder als ein Zurückgreifen auf die längst überwundene vulkanistische Theorie der Gebirgsbildung aufgefaßt und diese vollkommen falsche Erklärung meiner Ansichten ist wohl auch in der Hauptsache der Grund, weshalb man in geologischen Kreisen sich dieser Theorie so ablehnend gegenüberstellt.

Eine solche Annahme lag mir von vornherein völlig fern; nach meiner ursprünglichen Definition war die vulkanische Tätigkeit nicht die Ursache, sondern die direkte Folge der Gebirgsfaltung. Durch die Dislokationen, welche in so gewaltigem Maße besonders die Zentralzone der Alpen betroffen haben, wurde das Gefüge der Erdkruste erschüttert, und es boten sich dem vulkanischen Magma der Tiefe zahlreiche schwächere Stellen, welche dessen Emporsteigen ermöglichten. Daß dabei die von Gasen und Dämpfen erfüllten Schmelzflüsse sich aktiv an der Aufstauung der Schichten beteiligten, muß wohl angenommen werden, ist indes gegenüber den Kräften, welche der Zusammenschub der Erdrinde selbst lieferte, durchaus von sekundärer

Bedeutung. Daß die unter solchen Verhältnissen aus der Tiefe emporsteigenden Schmelzflüsse allenthalben echte Tiefengesteine geworden sind, kann nicht auffallend erscheinen, indem die Zusammenschiebung durch die Gebirgsfaltung naturgemäß in den oberflächlichsten Schichten der Erdkruste am bedeutendsten war und sich so gewaltige Massen emportürmten, welche nicht gerade als besonders günstig für das oberflächliche Hervortreten der vulkanischen Schmelzflüsse angesehen werden können.

Es dürfte nicht zweifelhaft sein, daß gewaltige Gebirgsstauungen gewöhnlich gewaltige vulkanische Intrusionen in ihrem Gefolge hatten, das beweisen so gut wie die Zentralzone der Alpen die Pyrenäen oder der Himalaya und andere Kettengebirge, welche eben stets als zentrale Achse einen Kern von gneisartigem Granit umschließen. Ich möchte dies besonders hervorheben gegenüber den Ausführungen von Rothpletz, welcher in weiterer Verfolgung der von Stübel ausgesprochenen Ansichten dem schmelzflüssigen Erdkern oder dem vulkanischen Magma physikalische Eigenschaften zuschreibt, welche physikalisch fast undenkbar sind. Es ist für den Physiker eine schwierige Vorstellung, wenn er annehmen soll, daß ein und derselbe Schmelzfluß bei einem und demselben kontinuierlichen Prozeß der Abkühlung einen oszillierenden Wechsel von Zusammenziehung und Ausdehnung zeige. Wenn auch manche Substanzen bekannt sind, welche bei einer bestimmten Temperatur für jeden Druck ihr kleinstes Volumen erreichen — ich nenne als allgemein bekanntes Beispiel das Wasser —, so daß bei weiterer Abnahme der Temperatur wieder Zunahme des Volumens eintreten muß, so hat jede dieser Substanzen eben nur einen solchen Wendepunkt, von welchem aus bei Abnahme wie bei Zunahme der Temperatur die Volumvergrößerung eine kontinuierliche ist.

Es liegt nun zwar kein Beweis dafür, aber auch kein Grund dagegen vor, auch bei einem vulkanischen Magma einen solchen kritischen Punkt anzunehmen, da wir das komplizierte Wesen solcher Schmelzflüsse viel zu wenig kennen, um uns überhaupt einigermaßen sichere Schlüsse auf die spezielleren Grundzüge ihres physikalischen Verhaltens zu gestatten. Die Annahme aber, daß eine größere Reihe solcher Wendepunkte vorhanden sein soll, was allein die oszillierende Kontraktion und Expansion bewirken könnte, steht jedenfalls im Gegensatz zu all unseren Erfahrungen.

Auch in anderer Richtung kann ich mich den Ausführungen von Rothpletz nicht anschließen, nämlich darin, daß unsere gegenwärtige Epoche zwar eine solche des Vulkanismus, nicht aber der Gebirgsbewegung sein soll. Die vulkanische Tätigkeit ist eine Erscheinung, welche mit ihren gewaltigen

Phänomenen so handgreiflich in die Erscheinung tritt, daß sie nicht übersehen werden kann, die Gebirgsfaltung dagegen dürfte sich aller Wahrscheinlichkeit nach so langsam und allmählich vollziehen, daß die kurze Spanne Zeit, aus welcher einwandfreie Beobachtungen vorliegen, überhaupt nicht in Betracht kommt.

Wenn nun auch die von Rothpletz in so umfassender Weise nachgewiesene, der Gebirgsfaltung folgende, effusive Tätigkeit in der Umgebung der Alpen den Beweis liefert, daß hier, wenigstens zeitweilig, der Zusammenschub der Erdrinde zum Abschluß gekommen war und an dessen Stelle Dehnung trat, so braucht man die Ursache dafür nicht in so schwierig plausibel zu machenden physikalischen Eigenschaften des Magmas zu suchen, zumal die Erscheinungen speziell der zentralalpinen Granite sich nur dann einigermaßen erklären lassen, wenn man die Intrusion dieser gewaltigen Massen, gegenüber von welchen all die in Frage kommenden Effusivgesteine völlig verschwinden, eben mit der Gebirgsfaltung in Beziehungen bringt.

Betrachten wir in diesem Zusammenhang die Erscheinungen des Zentralgranites, so läßt seine, wenigstens in den Randzonen stets schiefrige Ausbildung, die intensiven Kataklasten, die Gruppierung der Moleküle nach dem Volumgesetz keinen Zweifel daran, daß diese Gesteine in irgend einem Stadium ihrer Existenz gewaltigen mechanischen Einwirkungen ausgesetzt waren. Andererseits aber sehen wir, am allerdeutlichsten am Groß-Venediger, daß sich die Erscheinungen der Kataklaste in den Nebengesteinen der Granite nur noch lokal verfolgen lassen, der intensiv gefalteten Hauptmasse dieser Schiefer aber vollständig fehlen. Auch in den weit verbreiteten Nachschüben und Injektionen von aplitischer Zusammensetzung sind sie viel weniger, meist überhaupt nicht mehr nachzuweisen. Wenn wir nun für die Annahme der Einwirkung gebirgsbildender Faktoren auf die jetzt gneisartigen Zentralgranite in der ausgedehnten Verbreitung kataklastischer Strukturen einen so bezeichnenden Beweis haben, so können wir aus dem Gegenteil, dem Mangel solcher Strukturen, mit ebensolchem Recht den Schluß ableiten, daß auf diese später kristallisierten Bildungen derartige Prozesse nicht wirksam gewesen sind.

Wenn Rosenbusch diesen Mangel kataklastischer Strukturen in solchen, nach ihm dynamometamorphen Schiefergesteinen durch den von ihm aufgestellten Satz zu erklären sucht, daß kein physikalischer Prozeß dasjenige wieder zerstört, was durch diesen selbst gebildet wurde, so fehlt diesem Satz jede physikalische Begründung. Aber selbst angenommen, der Satz wäre richtig, so fehlt immer noch die Erklärung dafür, daß im Gegensatz zum Zentralgranit die mit ihm genetisch übereinstimmenden Aplite, die also zweifellos

nicht erst durch den Druck umkristallisiert d. h. dynamometamorph sind, doch in ihrer Struktur so häufig jede Einwirkung des Gebirgsdrucks vermissen lassen.

Die Aplite des Zentralgranites spielen überhaupt in der ganzen Beweisreihe der Piëzokristallisation eine besondere Rolle, so daß es zweckmäßig erscheint, ihre petrographische Bedeutung hier eingehend festzustellen.

Es wurde in diesen Ausführungen als a priori feststehende Tatsache angesehen, daß die Verbindung der Aplite mit den Graniten eine zeitlich außerordentlich innige sei, so daß die Prozesse der Bildung der beiden Gesteinstypen sich direkt aneinander anschließen. Für den erfahrenen Petrographen braucht dies wohl auch keiner weiteren Bestätigung. Sehen wir doch allenthalben Granit und Aplit aufs innigste miteinander verschweißt, so daß häufig keine scharfe Grenze zwischen beiden Gesteinstypen festzustellen ist, Verhältnisse, wie sie nur denkbar sind, wenn der Kristallisationsprozeß des älteren Granites noch nicht völlig abgeschlossen war, als jene des jüngeren Aplites begann. Und wir haben ferner in der granulitischen oder mikropegmatitischen Struktur der Aplite, welche in den Vorkommnissen der Zentralalpen ebenso weit verbreitet ist als anderswo, Formen vor uns, die der Petrograph nur als echte Eruptivstrukturen ansehen kann. Wir kennen solche Strukturformen nirgends in Bildungen, bei welchen eine Entstehung aus wässriger, sei es juveniler oder vadoser, Lösung einigermaßen wahrscheinlich gemacht werden kann.

Die mit diesen jüngeren Gängen in Zusammensetzung und Struktur so vollständig übereinstimmenden aplitischen Randzonen zahlreicher zentralalpiner Granitmassive weisen ebenso sehr auf diese nahen genetischen Beziehungen hin, wie sie andernteils auch wieder in der Verbindung der Aplite mit großartig entwickelten Pegmatiten, z. B. in den Tiroler Marmorlagern oder in den Vorkommnissen von Hüttenberg und anderen Orten in Kärnten, geboten sind. Dann tritt neben seltenen Mineralien von mancherlei Art vor allem der Turmalin in oft großartiger Entwicklung hervor, ein Mineral, dessen Bedeutung für die weiter unten folgenden Betrachtungen eine ganz besondere ist. Der Turmalin ist ein vulkanisches Mineral, das nur dort entsteht, wo im Zusammenhang mit Intrusionen saurer, in der Hauptsache granitischer Massen sich intensive postvulkanische Prozesse abgespielt haben, deren Mineralbildner zum Teil von diesem Mineral aufgenommen worden sind. Und wie wir in allen möglichen Graniterritorien die Beobachtung machen, daß der Granit selbst völlig frei von diesem Mineral geblieben ist, welches dagegen in allen späteren Äußerungen derselben vulkanischen Tätigkeit eine mehr oder minder bedeutende Rolle spielt, und namentlich auch die Zonen der kontakt-

metamorphen Gesteine in ihrem weitesten Umkreis allenthalben imprägniert, ebenso treffen wir die Verhältnisse zwischen dem stets turmalinfreien Zentralgranit und seinen fast immer turmalinführenden Nachschüben und Kontaktzonen. All diese Erscheinungen weisen darauf hin, daß die Aplite magmatische Erstarrungsprodukte sind, hervorgegangen aus Schmelzflüssen, welche sich nur aus den Mutterlaugen des Zentralgranites selbst ableiten lassen. Wenn aber die ursprüngliche Form, in welcher die Aplite in die Klüfte der Gesteine eingedrungen sind, die schmelzflüssige war, so ist nach allen Erfahrungen an derartigen übersauren Magmen mit ihrer verhältnismäßig geringen Kristallisationsfähigkeit die Annahme einer äußerst langsamen Abkühlung notwendig, um die holokristalline Entwicklung selbst der feinsten, kaum millimeterstarken Adern zu erklären. Wo derartige Schmelzflüsse sich in Klüfte ergossen haben, welche von dem Zentrum der vulkanischen Tätigkeit nachweisbar zeitlich oder räumlich größere Entfernungen aufweisen, da wird gesetzmäßig mit dieser Entfernung die kristallinische Beschaffenheit derselben geringer, die Aplite werden zu Quarzporphyren, diese gehen in noch fernerer Regionen in Pechstein über. Dann haben wir, der Raschheit des Verfestigungsprozesses entsprechend, auch nicht mehr die zarten, schmalen Adern, in denen uns die Aplite so oft entgegentreten, sondern vielmehr kompakte, mächtige Gänge.

Daß solche Aplite gebildet wurden, kann man daher nur verstehen, wenn man dieselben in jene Stadien der Gesteinswerdung verlegt, welche Becke in den S. 741 gegebenen Ausführungen für das Stadium der Kristallisations-schieferung der Granite annimmt, als die Kristallisation des Granites noch kaum oder gerade abgeschlossen war und die juvenilen Agentien des Magmas, vor allem aber dessen hohe Temperatur die Möglichkeit einer äußerst langsamen Verfestigung der vulkanischen Nachschübe ergab.

Diese Aplite lassen nun häufig ebenso wie zahlreiche Gesteine der „Schieferhülle“ des Zentralgranites jede Andeutung einer Kataklaststruktur vermissen. Die Prozesse, welche die fast nie fehlende Kataklaststruktur des Zentralgranites hervorbrachten, müssen also abgeschlossen gewesen sein, als die Aplite zur Verfestigung kamen. Wir beobachten nun ferner, wiederum am charakteristischsten am Groß-Venediger, daß die Züge der Aplitgänge in den schiefrigen Zonen des Zentralgranites gewöhnlich der Schieferung parallel liegen, daß also zur Zeit des Empordringens der Aplite diese bezeichnende Struktur schon vorhanden war, ja wir sehen, wie ich an einem Gerölle aus der Isar beschrieben habe, an dem die Schieferung quer durchsetzenden Aplit, der selbst jeder Kataklaste entbehrt, die deutliche Abformung der Wände der Kluft, welche durch den schon schiefrigen Zentralgranit durchgerissen war. Es war

also zur Zeit, als die Aplite emporgedrungen sind, auch die schiefrige Ausbildung des Zentralgranites in ihrer heutigen Form vollendet.

Aber auch bei der Betrachtung des Zentralgranites für sich machen wir noch eine Beobachtung, welche für die Erklärung der Prozesse von nicht untergeordneter Bedeutung ist. Der Kern der Massen ist nämlich in zahlreichen Fällen ganz abweichend von den Randzonen ausgebildet. Wenn man auch die kataklastische Beschaffenheit im inneren Kern kaum jemals vermißt und ebenso fast allenthalben die anomale mineralische Zusammensetzung beobachtet, welche der Wirkung des Volumgesetzes zugeschrieben wird, so sieht man doch in einer ausgedehnten Reihe von Profilen, deren typischstes vielleicht jenes des St. Gotthards ist, daß die ausgesprochene Schieferstruktur der Randzone mehr und mehr einer richtungslosen Beschaffenheit Platz macht. Die dünnschiefrigen Gneise und die völlig richtungslosen Granite gehen vom Rande zum Kern des Massivs ganz unmerklich ineinander über.

Ziehen wir die Schlußfolgerungen aus diesen Beobachtungen, so weist die erste Reihe zweifellos darauf hin, daß die Kräfte, welche die kataklastische Beschaffenheit des Granites hervorbrachten, nicht mehr in Aktion waren zu jener Zeit, als die Nebengesteine des Granites ihre kristallinische Beschaffenheit annahmen. Wenn es also dieselben Kräfte gewesen sein sollen, welche die „Kristallisationsschieferung“ des Granites bewirkten und ebenso auch die Umkristallisation seiner Nebengesteine hervorbrachten, so müßte man annehmen, daß in dem ersteren gleichzeitig mit der Schieferung eine intensive Zermalmung der Gemengteile eintrat, in den oft noch viel spröderen Schiefen, z. B. den quarzreichen Glimmerschiefen, aber keine Spur einer mechanischen Einwirkung zu sehen ist. Es müssen aber andererseits diese doch wohl unendlich langsamen Prozesse der Kristallisationsschieferung nach dem Riecke'schen Prinzip völlig abgeschlossen gewesen sein, als die massenhaften Aplitgänge sich in die Kontraktionsspalten des Granites eindrängten, welche ihre rein kristallinische Beschaffenheit in den schmalen und winzigen Adern nur in jenen Perioden annehmen konnten, in welchen eine ausreichende Durchwärmung des Nebengesteins eine langsame Abkühlung der schmelzflüssigen Materialien gestattete. Sonst werden, wie unsere Erfahrungen in anderen Gebieten lehren, solche übersaure Schmelzflüsse in allen Fällen zu mehr oder minder reinem Glas, da ihre Kristallisation offenbar erst im Stadium sehr starker Unterkühlung beginnt.

Es folgt daraus, daß der Prozeß der Erstarrung aus dem Schmelzfluß und jener der Kristallisationsschieferung, wenn es sich überhaupt um zwei Prozesse handeln kann, einander zeitlich so naheliegen müssen, daß

der letztere sich zwischen die Phase der magmatischen Erstarrung und jene der postvulkanischen Tätigkeit einschiebt, welche der Intrusion direkt nachfolgend zeitlich mit dieser in direkter Verbindung steht. Der Prozeß einer solchen durchgreifenden molekularen Umlagerung des Gesteins, wie er nach Ansicht der Dynamometamorphiker sich abgespielt haben soll, und der auch unter der Zuhilfenahme der juvenilen Agentien der Intrusion selbst doch nur unendlich langsam vor sich gehen konnte, müßte also in einem kurzen Augenblick der geologischen Zeitrechnung zur Vollendung gelangt sein.

Aber auch diese Annahme läßt sich nicht aufrechterhalten, wenn man die richtungslose Struktur im Kern der Zentralgranitmassen bedenkt. Die kataklastische Struktur dieser Gesteine wie ihr Mineralbestand weisen auf die Wirkung gewaltiger Spannung hin, aber es fehlt ihnen gerade das Kennzeichen, das die nach dem Riecke'schen Prinzip umkristallisierten Bildungen in erster Linie aufweisen müssen, nämlich die Schieferung, welche ja in erster Linie die Ursache war, daß die Untersuchungen von Riecke auf das Problem der kristallinen Schiefer überhaupt angewandt wurden. Wenn die Verhältnisse, wie sie Becke annimmt, vorhanden gewesen wären, d. h. ein wenn auch eben erst verfestigter granititischer Kern innerhalb der sich zusammenfaltenden Schieferhülle, so ist absolut kein Grund dafür einzusehen, daß im inneren Kern dieser Massen, welche doch wohl gleichmäßig kompakt waren, andere physikalische Gesetze hätten wirksam sein sollen als in den ebenso beschaffenen Randzonen.

Daß hier wie dort gleichmäßig gewaltige Spannungen vorhanden waren, das beweist sowohl die kataklastische Struktur der ganzen Massive als die massenhafte Entwicklung besonders von mikrolithischen Mineralien, welche, durch hohes spezifisches Gewicht oder durch Gehalt an Hydroxyl ausgezeichnet, jedenfalls eine sehr gedrängte Molekulargruppierung aufweisen.

Aber die Parallelstruktur der Gesteine in den Randzonen, die richtungslose im inneren Kern läßt darauf schließen, daß der orientierte Druck, welcher in den äußeren Zonen die parallele Anordnung der Mineralien bedingte, im Innern der Masse keine Orientierung mehr aufwies, oder daß an Stelle der Pressung in den Randzonen, welche in bestimmter Richtung wirkte, im Innern eine völlig richtungslose, allgemeine Spannung trat, welche zwar noch auf die Gruppierung der Moleküle zu Mineralien, nicht mehr aber auf die Anordnung dieser Kristallisationen einwirkte.

In einem festen Körper pflanzt sich bei genügender Belastung und genügender Dauer, welche Faktoren doch wohl angenommen werden müssen, der orientierte Druck oder die Pressung gleichmäßig durch die ganze

Masse fort. Es müßte also das ganze granitische Zentralmassiv, soweit die Voraussetzungen des Dynamometamorphismus in der mineralischen Zusammensetzung erkennbar sind, auch gleichzeitig eine schiefrige Beschaffenheit angenommen haben, wenn diese in den Randzonen durch dieses Agens bewirkt werden konnte. Im Gegensatz dazu stehen die Verhältnisse in einer Flüssigkeit, wie sie ein im Verfestigen begriffenes Eruptivmagma darstellt. Hier wirkt ganz in Übereinstimmung mit den natürlichen Erscheinungen der zentralalpinen Massen der orientierte Seitendruck nur auf die äußersten Zonen ein, um so tiefer, je weniger flüssig, je viskoser das betreffende Magma war und nur in diesen Zonen ist er imstande, orientierend auf die sich ausscheidenden Bestandteile zu wirken und somit Schieferstruktur hervorzubringen.

Gegen den Kern der Massen muß sich diese Erscheinung daher mehr und mehr verlieren, aber die allgemeine richtungslose Spannung und die durch die Gebirgsbewegung hervorgebrachte Verschiebung des sich im Innern des Schmelzflusses bildenden festen Mineralgerippes bedingt eine möglichst enge Gruppierung der Moleküle und eine, wenn auch immerhin beschränkte Verschiebung der einzelnen Teile des ausgeschiedenen Gerippes gegeneinander, deren Resultat die charakteristische Erscheinung der Kataklase oder nach dieser Art der Auffassung wohl besser Protoklase ist.

Der Schluß all dieser Betrachtungen ist, daß die Annahme eines doppelten Werdeprozesses der zentralalpinen Granite nicht nur keine Begründung in den tatsächlichen Verhältnissen findet, sondern daß auch die komplizierteste Verkläuterung des gegenseitigen Verhältnisses der beiden Vorgänge in direktem Widerspruch zu den tatsächlichen Verhältnissen steht, deren Gesamtheit nur dadurch zu deuten ist, daß man Gebirgsbildung und vulkanische Intrusion als Ursache und Folge zusammen betrachtet. Die zentralalpinen Granite sind unter wesentlicher Mitwirkung geodynamischer Phänomene zu geologischer Gestaltung gelangt, ihre anomale Beschaffenheit ist aber nicht ein Ergebnis späterer molekularer Umlagerung durch irgend eine Form des Dynamometamorphismus, sondern vielmehr durch die anomalen Verhältnisse ihrer Verfestigung unter hohem Druck bedingt, also durch Piézokristallisation.

Die Grundlage der ganzen bisherigen Auseinandersetzungen über die Verhältnisse der „kristallinen Schiefer“ der Zentralalpen bildet die Voraussetzung, daß der Zentralgranit eine echte Eruptivmasse darstellt, welche in schmelzflüssigem Zustand zwischen die Schichten eingedrungen ist, innerhalb deren wir sie heute finden. Es ist bezeichnend, daß diese Überzeugung erst seit recht kurzer Zeit in weitere Kreise gedrungen ist und es erscheint daher

angemessen, die Beobachtungen näher zu präzisieren, welche die intrusive Beschaffenheit des zentralgranitischen Kerns beweisen. Wird ja die ältere geologische Theorie über den Aufbau der Zentralalpen aus den drei Formationen der Gneise, Glimmerschiefer und Phyllite auch heute noch in verbreiteten Lehrbüchern der Geologie¹⁾ aufrecht erhalten und man findet in diesen überhaupt nur Andeutungen²⁾ darüber, daß hier vielleicht auch Eruptivgesteine mit in Betracht kommen.

Es durchsetzt eben die Theorie von der archaischen Formationsgruppe in den Zentralalpen noch unsere ganzen Begriffe, zumal die Zentralzone der Alpen mit ihren interessanten Lagerungsverhältnissen so lange die Schulbeispiele für eine ganze Reihe typischer Lagerungsformen der kristallinen Schiefer hergeben mußten, wie sie z. B. die Fächerstruktur u. dergl. darstellen. Man nahm die ganzen Komplexe als normale archaische Formationen in normaler Reihenfolge und es war erst notwendig, daß in verschiedenen dieser Vorkommnisse deutlich erhaltene Fossilreste gefunden wurden, um zur Aufgabe dieser Hypothese wenigstens für einzelne der fossilführenden Glieder gezwungen zu sein. Nun konstruierte man, um die unbequemen Gäste aus dem scheinbar so schön gefügten System zu entfernen, die großartigsten Einfaltungen, wobei die zufällig fossilführenden und deshalb als jünger anerkannten Lagen in die zufällig fossilfreien, deren präkambrisches Alter immer noch nicht zweifelhaft erschien, hineingewalzt erschienen. Die übereinstimmende petrographische Beschaffenheit der beiden Teile wurde, wie bei den Untersuchungen von Vaček in den Niederen Tauern, überhaupt nicht berücksichtigt oder es wurden künstlich subtile Unterscheidungen gesucht wie in den Schweizer Vorkommnissen, wo die jurassischen Zoisitknotenschiefer, in denen Belemniten gefunden worden waren, den mit ihnen wechsellagernden „archaischen“ Granatknotenschiefern gegenübergestellt wurden.

Daß solche Leitmotive bei einer eingehenden petrographischen Untersuchung nicht standhalten konnten, liegt auf der Hand und der größere Teil der Geologen kam auch bald zu der Überzeugung, daß es sich hier um unhaltbare, künstliche Konstruktionen handelt, welche deshalb fallen gelassen werden mußten. Aber die Erkenntnis, daß die Schieferhülle des Zentralgranites mit ihrer in den verschiedenen Teilen der Alpen so stark wechselnden petrographischen Beschaffenheit verschiedenen, meist jüngeren geologischen Formationen angehört, welche ursprünglich zweifellos zum großen Teil normale Sediment-

¹⁾ F. Toula, Lehrbuch der Geologie, 1900, 196.

²⁾ H. Credner, Elemente der Geologie. 9. Aufl. 1902, 374.

gesteine gewesen waren, forderte nun eine Erklärung für ihre jetzige kristallinische Beschaffenheit.

Dabei blieb an dem „Gneis“ der Begriff des hohen Alters haften und die ganzen Lagerungsverhältnisse der beiden so verschiedenaltigen Bildungen konnte wiederum nur in gewaltigen Dislokationen, Verschiebungen und Faltungen gesucht werden, welche gleichzeitig als Agens für die Metamorphose der Gesteine angesehen werden mußten, da bei dieser Art der Auffassung eine andere Möglichkeit der Erklärung überhaupt abgeschnitten war. Für die Frage nach der Ursache der Umwandlung der Schieferhülle in den Zentralalpen war dann selbst die mehr und mehr sich Eingang verschaffende Überzeugung ohne Belang, daß der „Zentralgneis“ der älteren Geologen in allen Beziehungen ein vollkommen echter Granit ist, da man eben immer noch in der Hypothese befangen war, daß dieser Granit uralt und lange vor der Bildung der ihn umhüllenden Sedimente entstanden war.

Auf dieser Grundlage entwickelte sich die Theorie der Dynamometamorphose, welche, wie schon oben bemerkt, heute das ganze Feld beherrscht und auch von denjenigen noch festgehalten wird, welche durch ausgedehnte Beobachtungen die Lehre von dem besonders hohen Alter des Zentralgranites als irrig erkannt haben.

Zweifellos ist, daß die Hauptmasse der Schieferhülle als metamorphe Schiefer angesehen werden muß, als Gesteine, welche ursprünglich normale Eruptivgesteine oder Sedimente gewesen sind und die ihren jetzigen Charakter durch intensive Prozesse der Umwandlung erhalten haben, wie wir sie in gleicher Ausdehnung sonst kaum irgendwo beobachten. Es handelt sich nun darum, die Berechtigung der Theorie der Dynamometamorphose für die Umwandlung dieser Gesteine eingehender zu prüfen. Schon vorher wurde betont, daß überhaupt keine andere Erklärung der normalen Beschaffenheit der Gesteine der Schieferhülle möglich ist, wenn nicht der Zentralgranit sich als normales Intrusivgestein feststellen läßt, und es ist also unsere erste Aufgabe, die Erscheinungsform des Zentralgranites genauer zu diskutieren, um daraus Anhaltspunkte für die Auffassung seiner Schieferhülle zu gewinnen.

Das Verhältnis des Zentralgranites zu seinem Nebengestein ist nicht überall mit gleicher Deutlichkeit zu verfolgen. Manchmal liegen die einheitlichen Massen der gneisartigen Granite so völlig als abgeschlossene, konkordante Einlagerungen in den Schiefen, daß man selbst bei genauer Betrachtung aller Verhältnisse kaum ein Anzeichen ihrer mit der Umgebung nicht äquivalenten Bildungsweise finden kann. Besonders, wo es recht vollkommen schiefrige Gesteine, Glimmerschiefer oder phyllitartige Bildungen sind, welche

den Zentralgranit umhüllen, oder wo recht massige und kompakte Gesteine wie die Eklogite an denselben herantreten, ist es meist recht schwierig, irgend ein Anzeichen dafür zu entdecken, daß der Granit ein echtes Intrusivgestein ist. Die Anhaltspunkte für diese Annahme müssen zunächst in zwei Erscheinungen gesucht werden, erstens in der Modifikation der mineralischen Zusammensetzung der Granite selbst gegen ihre Kontaktzonen zu, wie sie in einer in den Zentralalpen ganz besonders häufig entwickelten, oft recht breiten Randzone von aplitischer Beschaffenheit hervortritt, welche oft in großer Gleichmäßigkeit die ganzen Granitmassive rings umsäumt. Ein zweiter und zweifellos viel deutlicher in die Augen tretender Beweis ist in den Apophysen zu finden, welche das Intrusivgestein in seine Umgebung ausstrahlt. Aber in zahlreichen Gebieten der Zentralalpen ist die Deutung dieser Bildungen als echte Apophysen erschwert teils durch die Form der betreffenden Vorkommnisse, welche sich in schiefrigen Gesteinen fast ausschließlich den Schieferungsflächen parallel legen, teils durch die mineralische Zusammensetzung, welche gewöhnlich von jener des Granites selbst abweichend ist.

Der in den Zentralalpen arbeitende Geologe verlangt häufig von den Apophysen des Zentralgranites, welche seine Anerkennung finden sollen, daß sie in ihrem Habitus und ihrer Zusammensetzung völlig mit dem Zentralgranit übereinstimmen. Das ist eine Forderung, wie sie ein erfahrener Petrograph wohl kaum aufstellen würde, da man überall, wo Granitmassive Abzweigungen in das Nebengestein ausgesandt haben, unter diesen solche am seltensten trifft, welche die genaue Zusammensetzung des Massivgranites selbst haben.

Zweifellos sehr viel weiter verbreitet unter den Apophysen normaler Granite, deren direkter Zusammenhang mit dem Granitmassiv z. B. am Hörtekollen in Norwegen oder bei Gefrees im Fichtelgebirge handgreiflich ist, tritt eine Modifikation ein, welche diese Ganggesteine den Apliten nähert, oder es sind, wie dies namentlich in den sogenannten Injektionszonen das Gewöhnliche ist, echte Aplite, welche als leichtest bewegliche Bestandteile des granitischen Magmas von diesem abgespalten in das Nebengestein ausstrahlen.

Es kann nun keineswegs auffallen, daß die Zentralgranite mit ihrer in normalem Zustand aplitischen Randzone auch vorherrschend Apophysen von aplitischer Zusammensetzung in das Nebengestein entsenden, und daß es geradezu eine Seltenheit ist, in den Zentralalpen einen granitischen Gang von normaler Zusammensetzung zu finden. Solche sind mir nur in dem von mir am eingehendsten studierten Gebiete, dem Groß-Venedigerstock, bekannt geworden, wo besonders in der sogenannten Gneis-Glimmerschieferzone,

namentlich am Hohen Aderl, schmale, oft nur handbreite Gänge von normalgranitischer Zusammensetzung die Schiefer quer durchsetzen und eine deutliche, der Schichtung des Nebengesteins parallele Schieferung aufweisen, sowie ebenso häufig wieder beiderseits ein aplitisches Salband haben.

Für den in der Petrographie wenig bewanderten Geologen mag die Vorstellung wohl mit Schwierigkeiten verknüpft sein, daß die so weit verbreiteten aplitischen Abzweigungen trotz ihres recht abweichenden Aussehens die Apophysen des Zentralgranites darstellen, zumal sich dieselben in einer Anzahl von Vorkommnissen fast ausschließlich parallel zu den Schichtflächen des Nebengesteins eingelagert haben und ihren eruptiven Charakter nur dort deutlicher zu erkennen geben, wo sie in weniger schiefrige Gesteine, z. B. die Amphibolite oder die körnigen Kalke, hinübersetzen. Und dann tritt durch Aufnahme von Bestandteilen des Nebengesteins, welche zur Entstehung von Granat, Klinozoisit etc. Anlaß geben, oft eine recht weitgehende Modifikation ein, welche die Erkennung noch mehr erschwert, oder die Aplite werden zu öfter recht mineralreichen, turmalinführenden Pegmatiten. Auf diese Schwierigkeiten, welche die petrographische Beschaffenheit der Apophysen des Zentralgranites und ihre Lagerungsform aufweist, ist es wohl zurückzuführen, daß selbst die erfahrensten Geologen, die große Teile der Zentralkette gesehen haben, das Vorhandensein von Apophysen des Granites direkt verneinen.

Man braucht aber keineswegs die wirklich klassischen Punkte aufzusuchen, an welchen die Durchaderung des Nebengesteins durch den Granit selbst dem Laien auffällt, wie z. B. im obersten Hollersbachtal in Salzburg oder in den Marmorbrüchen bei Hüttenberg und im Fraßtal bei St. Gertraud in Kärnten, um sich von dem tatsächlichen Zusammenhang dieser Gangbildungen mit dem Zentralgranit zu überzeugen. Eine einigermaßen eingehende Untersuchung fast eines jeden Teiles der Zentralalpen liefert bald mehr bald weniger charakteristische Beispiele derartiger „Gneis“-Einlagerungen in der Schieferhülle, welche, in ihrem äußeren Habitus äußerst wechselnd, von dem völlig dichten „Mikroturmalingneis“ der steierischen Graphitlagerstätten bis zu den grobkörnigen Pegmatiten der Saualpe durch ungemein konstante mineralische Zusammensetzung sich auszeichnen.

Diese aplitisch-pegmatitischen Abzweigungen des Zentralgranites gehören zu den allerbezeichnendsten Vorkommnissen der Schieferzone der Zentralalpen überhaupt, und ich habe ihre Bedeutung für die Auffassung der Schieferhülle schon wiederholt und besonders in dem Schlußheft meiner Beschreibung des Groß-Venedigers eingehend dargelegt. Diese allverbreiteten Gänge sind jedenfalls ein unleugbarer Beweis dafür, daß der Zentralgranit jünger ist

als seine Schieferhülle und dieser gegenüber den Charakter eines echten Intrusivgesteins besitzt.

Einen weiteren, wie mir scheint, ebenso sicheren, wenn auch weniger für den mikroskopisch nicht geschulten Forscher in die Augen springenden Beweis liefert die fast allgemeine Imprägnation der kristallinen Schieferhülle der Zentralalpen mit Turmalin. Nur selten allerdings tritt dieses Mineral in den erwähnten Gesteinen schon bei makroskopischer Betrachtung hervor, wenn man nur die Gesteine selbst, nicht auch die meist linsenförmigen Einlagerungen von späterer Entstehung im Auge hat, so z. B. in den muskovitreichen Glimmerschiefern oder in den Graphitschiefern des Groß-Venedigerstockes. Aber ebensowenig wird man die mikroskopischen Individuen des Minerals vermissen, wenn man irgend eine Serie von Gesteinen der Schieferhülle der Zentralalpen einigermaßen eingehend durchforscht.

Man glaubt ja wohl gegen diese Beobachtungen einwenden zu können, daß auch ganz normale Tonschiefer, welche äußerlich keine Spur einer Metamorphose erkennen lassen, gelegentlich etwas Turmalin enthalten, und zwar ähnlich wie die Gesteine der Schieferhülle der Zentralalpen in kleinen, aber wohlausgebildeten Nadeln, welche durchaus den Charakter authigener Bildungen an sich tragen, also nicht aus präexistierenden Gesteinen herkommen, und auch, was besonders bezeichnend ist, häufig genug mit ihrer Längserstreckung gar nicht in der Strukturebene des Sedimentes liegen, was wohl in besonderem Maße als Beweis gegen ihre allothigene Entstehung anzusehen ist.

Ich selbst kenne den Turmalin in weiter Verbreitung und in der geschilderten Ausbildung in Tonschiefern, aber alle derartigen Vorkommnisse stammen aus Gebieten, wo entweder die betreffenden Schiefer selbst schon einen phyllitähnlichen Charakter angenommen haben wie in der sogenannten Phyllitstufe der Tauern, oder mit untergeordneten Einlagerungen abwechseln, welche deutlich den Anfang einer kristallinen Umbildung erkennen lassen, wie es z. B. für die kambrischen Schiefer der Ardennen oder gewisse Vorkommnisse des Fichtelgebirges zutrifft. Gleichzeitig mit dem Auftreten des Turmalins sieht man dann allenthalben, daß die Tonschiefernädelchen deutlicher entwickelt sind, daß serizitartige Mineralien viel besser kristallinisch hervortreten als im gewöhnlichen Tonschiefer und daß endlich die feinen, scharfen Quarzsplitterchen normaler Tonschiefer einem mehr körnigen Quarzmosaik Platz gemacht haben, welches diese Schiefer durchzieht. Und mit solchen, äußerlich oft ganz unveränderten Tonschiefern wechsellagern dann fast stets Knotenschiefer oder andere Bildungen von deutlicher kristallinischer

Beschaffenheit wie die Ottrelithschiefer der Ardennen oder körnige Kalke im Fichtelgebirge.

Man mag ja vielleicht einwenden, daß die Agentien, welche bei der Umwandlung durch Dynamometamorphose vorausgesetzt werden, die spezielle Fähigkeit haben, neukristallisierend in erster Linie auf den Turmalin zu wirken, welcher dann als ursprünglicher Bestandteil des Sedimentes anzusehen wäre und unter der Wirkung der Agentien nur seine Form verändert hätte, noch bevor die anderen Bestandteile deutlich reagierten. Ganz abgesehen von der äußersten Unwahrscheinlichkeit eines solchen Prozesses, ist zu betonen, daß der Turmalin als klastischer Bestandteil von Tonschiefern entweder überhaupt nicht oder doch höchstens als äußerste Seltenheit nachgewiesen ist und daß außerdem auch solche Gesteine, welche primär sicher turmalinfrei sind wie die Diabase, in dem Verband der Schieferhülle umgewandelt lokal recht reichlich Turmalin führen, der hier überhaupt gar keinem Gestein fehlt. Wenn auch nicht gerade jeder Schliff das Mineral deutlich erkennen läßt, so kann man ebenso sicher auch nie eine Serie aus irgend einem Gebiete der Schieferhülle gründlich durcharbeiten, ohne fortgesetzt auf dieses, oft in winzigen Mikrolithen auftretende Mineral aufmerksam zu werden.

Es ist dabei gleichgültig, ob das betreffende Gestein direkt am Kontakt oder in weiter Entfernung davon gesammelt wurde. Ja, wie mir scheint, geht in den Kontaktzonen nicht nur der Zentralgranite, sondern der Granite im allgemeinen die Imprägnation mit Turmalin weiter als jede sonst sichtbare Veränderung, so daß die nachweisbare Einwirkung der kontaktmetamorphosierenden Agentien erst dort aufhören würde, wo der Turmalin nicht mehr aufzufinden ist. Jedenfalls ist unter allen Bestandteilen der Gesteine der Schieferhülle der Turmalin der konstanteste, wenn er auch meist in sehr geringen Mengen auftritt, und die Schwierigkeit, die Allverbreitung dieses Minerals zu erklären, scheint mir eine bemerkenswerte Schwäche der Theorie des Dynamometamorphismus zu sein.

Der Turmalin wird so, im Zusammenhang mit den oft außerordentlich turmalinreichen Apliten und Pegmatiten betrachtet, trotz seiner untergeordneten Menge zu einem wichtigen Bestandteil der Gesteine, dessen Entstehung mit der Umbildung derselben zum kristallinen Schiefer zusammenfällt und der daher auch seine Ursache in den metamorphen Prozessen haben muß, welchen diese Gesteine ihre heutige Beschaffenheit verdanken. Jede Theorie, welche das allverbreitete Auftreten dieses Minerals in den allerverschiedenartigsten Schiefen nicht erklären kann, kann auch unmöglich den Anspruch erheben, die richtige Deutung der in Betracht kommenden Prozesse zu liefern.

Es mag hier noch darauf hingewiesen werden, daß in gewissen Glimmerschiefern, z. B. der Münchberger Gneisplatte oder des Tian-Schan, sich ein chlorhaltiger Skapolith zu dem Turmalin gesellt oder auch ganz an seine Stelle tritt, ein Mineral, das allerdings wegen seiner weniger prägnanten optischen Eigenschaften nur dort in die Augen fällt, wo es in nicht allzu kleinen Individuen vorhanden ist, und das außerdem umwandelnden Prozessen viel leichter erliegt als der so beständige Turmalin.

Es wird in erster Linie gegenüber von meinen früheren „einseitigen und durch nichts bewiesenen“ Ausführungen über die Analogie der Kontaktgesteine mit diesen kristallinen Schiefern darauf hingewiesen, daß erstere verhältnismäßig lokalisierte Vorkommnisse darstellen, während letztere eine eigentlich regionale Ausdehnung besitzen, daß man bei ersteren stets die Gegenwart eines umwandelnden, meist granitischen Eruptivgesteins in nächster Nähe beobachtet, während die letzteren auch ohne eine solche Nachbarschaft auftreten. Gegen den zuerst genannten Einwand, der sich zunächst auf die Beobachtungen in den Zentralalpen stützt, findet man, wie schon oben ausgeführt, in allen Gebieten bei einigermaßen sorgfältiger Beobachtung reichliches Material zur Widerlegung.

Es muß allerdings zugegeben werden und auch darauf habe ich schon öfter aufmerksam gemacht, daß in den Zentralalpen die Zonen der Umwandlung ausgedehnter zu sein scheinen als in sonstigen Gebieten, und daß verhältnismäßig bedeutende Komplexe von kristallinen Schiefern vorhanden sind, ohne daß der Zentralgranit selbst in kompaktem Massiv aufgeschlossen wäre. Becke verweist in diesem Zusammenhang speziell auf die Verhältnisse im Grensrücken zwischen dem Passeier- und Ridnauntal in Tirol, wo gewaltige Massen hochkristallinischer, granatführender Glimmerschiefer, Amphibolite und grobkörniger Kalke in weitester Entfernung von einem granitischen Massiv anstehen.

Die Widerlegung dieser Annahme kann ich hier kurz fassen, sie wurde an anderer Stelle schon ausführlich gegeben. Erstens trifft man in diesen Glimmerschiefern zahlreiche, zum Teil mächtige Einlagerungen, die ihrer ganzen Beschaffenheit nach nur Abzweigungen des Zentralgranites sein können, lagerartige Masse von der Zusammensetzung der Granite und Aplite, die auf die nicht allzu bedeutende Entfernung des Zentralgranitmassivs hinweisen. Ja man sieht dieses selbst am Fuße des Schneebergs durch die neue Straße durchaus nicht in weitester Entfernung, sondern in nächster Nähe aufgeschlossen. Mag nun die Zone der umgewandelten Gesteine in den Zentralalpen für noch so gewaltig angesehen werden, so ist meines Erachtens das in den hochkristalli-

nischen Bildungen wenigstens stets zu beobachtende Auftreten der wenn auch stark modifizierten Apophysen des Granites sowie die Imprägnation der Gesteine mit Turmalin ein direkter Beweis dafür, daß die Wirkungen des Vulkanismus hier bedeutend genug gewesen sein müssen, um auch die Umwandlung der Gesteine zu kristallinen Schiefern zu erklären. Dazu kommt, daß nicht etwa mit dem Maße der Zusammenfaltung der kristallinen Habitus der Gesteine zunimmt, sondern vielmehr mit der Annäherung an das granitische Zentralmassiv.

Bei der kritischen Würdigung derartiger Beobachtungen sollte allerdings ein gewisses Maß von Erfahrung über den Prozeß der Kontaktmetamorphose überhaupt vorausgesetzt werden. Wer wie W. Hammer an eine kontaktmetamorphe Umbildung von Kalksteinen nur dann glaubt, wenn er im Zusammenhang mit solchen eigentlichen Granatfels etc. beobachtet, und die einfache Umkristallisation, die sogenannte Marmorisierung in Gegensatz dazu bringt, erscheint den hier zu stellenden Anforderungen nicht gewachsen. Die Kontaktmetamorphose bedingt in ihrer normalen Form in erster Linie eine einfache, molekulare Umlagerung der Gesteine: Sedimente werden zu kristallinen Gesteinen, deren chemische Zusammensetzung mit jener des ursprünglichen Sedimentes auf das vollkommenste übereinstimmt. Für die Entstehung der Andalusithornfelse, der Knotenschiefer etc. ist dies wohl auch auf seiten der Geologen allgemein anerkannt, nur für den Kalkstein wird in der geologischen Literatur ein besonderes Verhalten angenommen. Die Beobachtung, daß öfter in kontaktmetamorphen Kalken Granat, Vesuvian etc. auftreten, hat die eigentümliche Anschauung bewirkt, als ob aus jedem Kalk bei der Kontaktmetamorphose sich diese Mineralien, womöglich in reicher Fülle, entwickeln müßten. Hammer findet nun auch tatsächlich lokal direkt an der Grenze zwischen dem pegmatitischen „Martellgranit“ und dem Südtiroler Marmor die Entwicklung von Granatfels und hält diese untergeordneten Vorkommnisse von Silikatfelsen für einen Beweis, daß dort die Kontaktmetamorphose nur in sehr engem Maße gewirkt hat gegenüber der allgemeinen, dynamometamorphen Marmorisierung.

Es bedarf nicht recht weitgehender Erfahrung, um zu erkennen, um was es sich hier handelt, und schon eine aufmerksame Beobachtung der Verhältnisse im Monzonigebirge, die doch wohl auch Hammer für den reinen Typus der Kontaktmetamorphose halten dürfte, hätte ihn ausgedehnte Lager von recht reinem Marmor kennen gelehrt, welche manchmal ganz wie die von Hammer erwähnten Bildungen durch ein schmales Band von Kalksilikatfels vom Eruptivgestein geschieden sind. Bei der Betrachtung dieser Erscheinungen, welche

übrigens überall bald mehr bald weniger deutlich hervortreten, wo reine Kalke in Kontakt mit Eruptivgesteinen gekommen sind, kann man doch wohl nur in der Marmorisierung die normale Erscheinung der Kontaktmetamorphose sehen, während die Kalksilikatfelse vielmehr anomale, sehr häufig auf die aller-nächsten Berührungsstellen der beiden Gesteine beschränkte Bildungen sind, deren chemische Zusammensetzung im Gegensatz zu den normalen Produkten der Kontaktmetamorphose von der ursprünglichen Zusammensetzung des Kalksteins weit abweicht und welche ihren Gehalt an Kieselsäure, Tonerde etc. mindestens zum größten Teil den Agentien des Eruptivgesteins verdanken. Es sind die sogenannten Zwischenbildungen, in welchen sich die Bestandteile des Eruptivgesteins mit jenen des Sedimentes mischen, die wohl auch als eigentliche Gänge oder als Putzen wie bei Auerbach an der Bergstraße in sonst reinem körnigem Kalkstein weit verbreitet sind und die lokal, und dann stets im Zusammenhang mit Erzmassen eine nicht unbedeutende Entwicklung erhalten haben.

Die ganze Erscheinung weist allerdings insofern eine gewisse Schwierigkeit auf, als im Monzongebirge sowohl als an anderen Punkten einzelne Schichten Mineralien derselben Gruppen enthalten, wie sie diese Massen von Kalksilikatfelsen zeigen, und daß derartige Kalziphyre schließlich auch in eigentliche Kalksilikatfelse übergehen, wie ich sie z. B. aus den Kontaktzonen der zentralalpinen Serpentine beschrieben habe. Aber charakteristische Unterschiede beider Arten von Vorkommnissen lassen sich äußerlich wie innerlich feststellen.

Die aus ursprünglich stark verunreinigten, tonige und kieselige Bestandteile enthaltenden Kalken hervorgegangenen Kalksilikatfelse zeigen im allgemeinen deutlich die Form schichtiger Einlagerungen, welche von dem zufälligen Verlauf der Grenze gegen das Eruptivgestein völlig unabhängig sind, sie zeigen meist selbst im kleinen eine ausgesprochene Bänderung, welche der ursprünglichen Schichtung entspricht, und haben in ihrem häufig recht vielgemischten Mineralaggregate die chemische Zusammensetzung echter Sedimente, etwa der Mergel. Im Gegensatz dazu steht die Zusammensetzung der für die Ausführungen Hammers in Betracht kommenden Silikatfelse, welche in den einzelnen Vorkommnissen viel einheitlicher, in ihrer Gesamtheit aber insofern viel wechselnder sind als gewisse Bildungen, welche chemisch sich von der erstgenannten Gruppe vielleicht nicht weit entfernen, mit solchen vereinigt wurden, deren Bestandteil ausschließlich oder fast ausschließlich ein einzelnes Mineral, z. B. Wollastonit, Granat, Pyroxen, Vesuvian etc. ist, und die chemisch in den verschiedensten Richtungen von jedem denkbaren Sediment weit abweichen. Dazu kommt die Unregelmäßigkeit ihrer Form, der Mangel einer Schichtung,

ihr oft nachweisbar gangförmiges Auftreten und die Erscheinung, daß man solche Bildungen nicht in auch sonst silikatreichen Kalziphyren, sondern fast ausschließlich in mehr oder minder reinen Marmoren findet.

Betrachten wir nun die Strukturverhältnisse der sogenannten kristallinen Schiefer etwas genauer, so sind diese für Rosenbusch „ein sicherer Beweis für die Mineralumbildung in starrer Gesteinsmasse und für die Gleichzeitigkeit der verschiedenen Mineralbildungen“. Auch Becke hält diese Voraussetzung wenigstens insofern für gegeben, daß die eine Umwandlung bewirkenden Lösungen in starrer Gesteinsmasse zirkulierten. Die Struktur der kristallinen Schiefer, welche Becke wegen der unvollkommenen Ausbildung der einzelnen Kristallkörner als kristalloblastische bezeichnet, ist in erster Linie durch den Mangel einer Reihenfolge der Kristallisation gegeben, was zu der Annahme führt, daß alle Bestandteile des Gesteins gleichzeitig kristallisiert sind. Zugegeben muß werden, daß dies bei einer großen Reihe von kristallinen Schiefern der Fall ist, aber es werden durch diese Definition wieder eine andere Gruppe, in erster Linie die primär schiefrigen Eruptivgesteine, von dem Begriff ausgeschlossen. Daß überhaupt andere Gesetze der Kristallisation in den kristallinen Schiefern maßgebend sind als in den normalen Eruptivgesteinen, daß selbst die seltenen Zonenstrukturen anderen Regeln folgen als bei diesen, kann doch wohl nicht als Beweis ihrer Umkristallisation in starrer Gesteinsmasse angesehen werden.

Betrachten wir die normalen Produkte der Kontaktmetamorphose in irgend einem der am allgemeinsten anerkannten Kontakthöfe, so trifft man dort alle jene Erscheinungen, welche Becke als besonders unterscheidend und bezeichnend für die kristallinen Schiefer aufstellt. Die durchschnittlich schlechte Begrenzung und das gegenseitige Sichumhüllen der einzelnen Gemengteile, die Seltenheit von Skelettformen, der Mangel an Zonenstruktur sind für die Hornfelse ebenso bezeichnend, und ebenso fehlen ihnen auch alle charakteristischen Strukturformen der Eruptivgesteine.

Ich habe schon an anderer Stelle darauf hingewiesen, daß jede der von Becke und Grubenmann so besonders hervorgehobenen Strukturformen der sogenannten kristallinen Schiefer längst bekannte Erscheinungen sind, welche für die unter den Verhältnissen der Kontaktmetamorphose umkristallisierten Gesteine mindestens ebenso charakteristisch sind wie für die kristallinen Schiefer selbst. Wenn jetzt dieses Verhältnis mit einem großen Aufgebot neuer Namen als neue Errungenschaft hingestellt werden soll, so möchte ich meinen Standpunkt dahin präzisieren, daß mir ganz im Gegensatz zu Becke und Grubenmann eine Neubenennung nur dort notwendig erscheint, wo etwas

tatsächlich Neues gefunden wurde. Man darf aber doch wohl nicht eine und dieselbe Struktur mit verschiedenen Namen bezeichnen, je nachdem sie an einem oder an einem anderen Gestein auftritt. Eine Klinge bleibt eine Klinge, ganz gleichgültig, ob sie an einem Schwert oder an einer Sense angebracht ist und die Siebstruktur oder die helizitische Struktur haben kein Anrecht auf verschiedene Namen, wenn sie das eine Mal in einem nachweisbaren Kontaktgestein, das andere Mal in einem sogenannten kristallinen Schiefer aufgefunden werden. Man möchte bei dieser von Becke inaugurierten Methode der Nomenklatur, welche dieselben Erscheinungen, sobald sie an Gesteinen auftreten, die nach seiner rein hypothetischen Annahme verschiedener Entstehung sein sollen, mit verschiedenen Namen unterscheidet, die Worte Beckes anwenden, die er in der Kritik einer ähnlich exaltierten, von Amerikanern ausgehenden Systematisierung der Eruptivgesteine gebrauchte: „Es ist möglich, daß die Petrographie auch noch durch dieses Gebiet, welches mehr der sterilen Wüste gleicht, hindurch muß, um zur gesegneten Oase einer wirklichen Systematik zu gelangen.“ Jedenfalls kann ich es nicht für eine Förderung der Wissenschaft ansehen, wenn man altbekannte Dinge mit einem neuen Namen markiert.

Es ist absolut zweifellos, daß keine Strukturform normaler Kontaktgesteine dieser zuletzt charakterisierten Gruppe der kristallinen Schiefer fehlt, und daß diese wiederum keine Formen aufweisen, die man nicht in gleicher Verbreitung auch in den Kontaktgesteinen findet, oder mit anderen Worten: die Strukturformen beider sind absolut identisch.

Wenn nun Becke die Struktur der Gesteine besonders deshalb hervorhebt, weil er in derselben ein hervorragend wichtiges genetisches Kennzeichen sieht, so kann ich ihm in dieser Beziehung gewiß nur beipflichten. Wir haben keinen besseren Anhaltspunkt für die Bestimmung der Entstehungsbedingungen eines Gesteins als seine Struktur, und wie die granitische oder ophitische, die pegmatitische oder intersertale Struktur die chemisch-physikalischen Prozesse bei der Entstehung der Eruptivgesteine uns kennen lehren, ebenso geben uns die Siebstruktur, die helizitische und die Pflasterstruktur wichtige Hinweise dafür an die Hand, daß die Bedingungen der Kristallisation bei den Kontaktgesteinen und kristallinen Schiefen andere gewesen sind als bei der Verfestigung der Schmelzflüsse selbst.

Die Übereinstimmung der Strukturformen der Kontaktgesteine und der kristallinen Schiefer aber muß uns dann folgerichtig auch zu der Überzeugung führen, daß bei der Kristallisation beider übereinstimmende chemisch-physikalische Verhältnisse herrschten. Die Struktur beweist mit völliger Sicherheit, daß die kristallinen Schiefer keineswegs, wie dies aus allen Darstel-

lungen von Becke und Grubenmann etc. für den nicht in alle Details Eingeweihten hervorzugehen scheint, einer ganz selbständigen Reihe chemisch-physikalischer Prozesse ihre Entstehung verdanken, welche uns berechtigen würden, dieselben den beiden Hauptgruppen der Sedimente und Eruptivgesteine als systematisch gleichwertig gegenüberzustellen. Wenn eine derartige Abtrennung, welcher in erster Linie die Gesteinsstruktur zu Grunde gelegt wird, überhaupt durchgeführt werden kann, so muß sie in gleicher Weise die kristallinen Schiefer und die Kontaktgesteine umfassen.

Bevor ich nun zum letzten Punkt dieser Studie, der Besprechung des Mineralbestandes der kristallinen Schiefer übergehe, möchte ich kurz die Ergebnisse der bisherigen Ableitungen zusammenstellen. Wenn wir nur die unter wesentlicher Mitwirkung geodynamischer Prozesse zur Gestaltung gelangten kristallinen Schiefer betrachten, so haben wir unter denselben zwei Gruppen zu unterscheiden, von welchen die eine zweifellos ihre ursprüngliche, die andere ebenso sicher eine metamorphische Beschaffenheit aufweisen.

Die ersteren sind, soweit sie bis jetzt genauer studiert wurden, weitaus vorherrschend leukokrate Intrusivgesteine vom chemischen Typus der Granite und Tonalite mit ihren zugehörigen Apliten, Lamprophyren und Pegmatiten, untergeordnet auch Peridotite vom Charakter der Stubachite, welche eine normale mineralische Zusammensetzung und häufig eine ausgesprochene Schieferstruktur durch Piëzokristallisation erhalten haben, die aber sonst, namentlich auch in Beziehung auf die gegenseitigen Verhältnisse der einzelnen Mineralien nichts von der gewohnten Eruptivstruktur Abweichendes an sich tragen. Die zweite Gruppe von Gesteinen dagegen, welche zweifellos „metamorphische Schiefer“ darstellen, sind teils ursprüngliche Sedimente teils ursprüngliche Eruptivgesteine. Jene sind aus den verschiedenartigsten Gliedern der sedimentären Reihe, aus Tonschiefern, Sandsteinen und Konglomeraten, aus Mergeln, Kalksteinen und Dolomiten, aus Kohlen, Anhydrit und Gips, aus organogenen Kieselgesteinen etc. hervorgegangen, wobei nur die Typen des leicht löslichen Steinsalzes und seiner Abraumalze fehlen. Auch in diesem charakteristischen Mangel der „kristallinen Schiefer“ glaube ich einen gewissen Hinweis auf ihre Entstehungsbedingungen sehen zu dürfen, ebenso wie auch in den kontaktmetamorphen, Skapolith und Turmalin führenden Gipsen und Anhydriten der Pyrenäen die zugehörigen Steinsalzablagerungen völlig fehlen. Daß es sich bei einer gewaltigen Reihe dieser kristallinen Schiefer um ursprünglich normale Sedimente handelt, beweist nicht nur ihre, mit diesen Sedimentgesteinen auf das vollständigste übereinstimmende chemische Zusammensetzung, sondern in weiter Verbreitung auch die Erhaltung von

sicheren Kennzeichen sedimentärer Entstehung, welche, abgesehen von der helizitischen Struktur, besonders in der Konservierung gröberer klastischer Bestandteile und in den zum Teil noch recht wohl erkennbaren Fossilresten gegeben sind, welche an nicht wenigen Punkten in solchen Gesteinen aufgefunden wurden.

Die andere Hälfte dieser metamorphischen Schiefer umfaßt Eruptivgesteine und zwar zum Teil basische Tiefengesteine, in der Hauptsache aber Ergußgesteine mit ihren zugehörigen Tuffen, Bildungen, welche in den erhaltenen korrodierten Quarzeinsprenglingen gewisser Serizitschiefer oder in den porphyrischen oder ophitischen Palimpseststrukturen der Amphibolite und Grünschiefer gleichfalls oft noch deutlich das ursprüngliche Material erkennen lassen, aus welchem sie hervorgegangen sind.

In beiden Abteilungen dieser zweiten Gruppe, welche man am besten als metamorphische Schiefer zusammenfaßt, beobachten wir mikroskopisch Strukturformen, welche von jenen der primären Eruptivgesteine völlig abweichen, die aber in der Hauptsache wenigstens beiden gemeinsam sind. Die vollständige Übereinstimmung dieser Struktur mit solchen allgemein anerkannter Kontaktgesteine weist auf analoge Entstehungsbedingungen dieser kristallinen Schiefer mit letzteren hin und dieser Hinweis wird noch verstärkt durch eine ganze Anzahl von Erscheinungen, welche die metamorphischen Schiefer darbieten. Es muß in dieser Beziehung besonders das Auftreten authigener Turmalinindividuen in beiden Gesteinsgruppen hervorgehoben werden, ebenso die Erscheinung, daß die Korngröße wie die kristallinische Beschaffenheit in beiden Reihen mit der Entfernung von dem intrusiven Kern oder wo dieser nicht aufgeschlossen ist, mit dem Zurücktreten der meist aplitischen Injektionen abnimmt, und daß schließlich eben diese aplitischen resp. auch pegmatitischen Injektionen für die höher kristallinen Schiefer ebenso charakteristisch sind wie für die normalen Typen der Kontaktgesteine.

Wenn wir schließlich die mineralische Zusammensetzung der kristallinen Schiefer betrachten, so treten auch hier wieder recht verschiedenartige Gruppen unter der Gesamtheit der Gesteine hervor, welche im allgemeinen als kristallinische Schiefer bezeichnet wurden. Es gibt fluidal entwickelte Granite etc., welche mit dem Namen Gneis bezeichnet wurden, es gibt Bänder- und Flaser-gabbro, welche von der normalen Zusammensetzung des Gabbro sich in keiner Weise entfernen, ebenso wie die dünnschiefrigen, von Gümbel als Hornblendeschiefer bezeichneten Bojite der Oberpfalz mineralogisch und strukturell mit dem normalen Typus des Bojits völlig über-

einstimmen. Es gibt andernteils Eruptivgesteine, welche unter wesentlicher Mitwirkung geodynamischer Prozesse zu primärer Gestaltung gekommen sind und in denen sich eine etwas anomale mineralische Zusammensetzung einstellt, indem entsprechend dem Volumgesetz sich an Stelle der basischen Plagioklase spezifisch schwere Kalktonerdesilikate neben mehr sauren Plagioklasen ausgeschieden haben und besonders auch hydroxylreiche Mineralien wie Chlorit und Serpentin eine Rolle spielen.

Doch sind bei all diesen Gesteinen die Verhältnisse, soweit sie wenigstens bisher studiert wurden, verhältnismäßig einfach. Die Schwierigkeiten beginnen erst bei der Betrachtung der sicher metamorphischen Gesteine, welche den kristallinen Schiefern zugerechnet werden. Es muß hier in ausführlicherer Weise noch als bisher auf die Ausführungen von Becke, Grubenmann etc. eingegangen werden, wenn man jene Klarheit erreichen will, welche das eigentliche Ziel wissenschaftlicher Forschung darstellen sollte. Denn mit Namen, Formeln und Hypothesen kann ein exaktes, wissenschaftliches System nicht gestützt werden.

Betrachten wir also die Verhältnisse dieser metamorphen Schiefer in der originalen Darstellung von Becke etwas genauer. Aus der Hypothese, daß die Umgestaltung der als kristallinen Schiefer bezeichneten Gesteine unter wesentlicher Mitwirkung geodynamischer Phänomene vor sich gegangen ist, ergibt sich die Annahme des wohl zuerst von Rosenbusch und Becke erkannten Volumgesetzes, d. h. des chemisch-physikalischen Gesetzes, daß unter hohem Druck die Moleküle die Tendenz haben, den denkbar kleinsten Raum einzunehmen und sich also zu Mineralien von besonders kleinem Volumen, d. h. im Verhältnis zu ihren Bestandteilen hohem spezifischem Gewicht zusammenzufinden. Daß unter besonders hohem Druck ein anderer Gleichgewichtszustand stabil ist als unter dem gewöhnlichen, kann man mit vollem Recht annehmen und wenn unter dem hohen Druck die Moleküle genügend Bewegungsfähigkeit haben, um sich zu neuen Gruppen zusammenzufinden, so müssen diese sich durch ein gedrängteres Volumen auszeichnen, d. h. unter der Voraussetzung der Bewegungsfähigkeit der Moleküle bilden sich bei hohem Druck Mineralassoziationen von verhältnismäßig geringem Molekularvolumen, d. h. hohem spezifischem Gewicht. Ein unter hohem Druck kristallisiertes Gestein wird daher ein durchschnittlich höheres spezifisches Gewicht aufweisen als dasselbe Gestein haben würde, wenn es unter normalen Verhältnissen kristallisiert wäre. In besonders extremer Weise zeigen die Wirkung des Volumgesetzes die berühmten Versuche von Moissan über die Nachbildung des Diamants. Der Kohlenstoff, der unter normalen Verhältnissen

als spezifisch leichter Graphit kristallisiert, wird unter hohem Druck zum spezifisch schweren Diamant.

Dieser Satz erleidet allerdings bei den in Betracht kommenden metamorphischen Schiefern eine gewisse Modifikation dadurch, daß bei diesen Umkristallisationsprozessen stets Agentien angenommen werden müssen, welche unter normalen Kristallisationsverhältnissen einfach entweichen und so in dem Volumen des Gesteins nicht zum Ausdruck kommen, unter den erhöhten Druckverhältnissen aber zurückbleiben und in die Konstitution der Mineralien eintreten. In erster Linie sind dies das Wasser und lokal wenigstens die Kohlensäure, und man wird daher von vornherein hydroxylhaltige Mineralien in weiter Ausdehnung erwarten dürfen, und auch die an sich nicht schweren Karbonate werden hier eine größere Rolle spielen, manchmal in so bedeutendem Maße, daß die unter hohem Druck gebildeten Gesteine spezifisch leichter werden als jene, die unter normalen Druckverhältnissen kristallisiert sind und aus denen eben jene an sich sehr leichten Bestandteile entweichen konnten. In einfachen Beispielen stellen sich diese Erscheinungen etwa folgendermaßen dar: Anhydrit + zwei Teile Wasser hat ein geringeres spez. Gewicht als die äquivalente Menge Gips, unter hohem Druck würde sich also leichter Gips bilden als Anhydrit; oder kohlensaurer Kalk + Quarz hat ein höheres spez. Gew. als Wollastonit + freie Kohlensäure, unter hohem Druck ist also die erste Kombination die stabilere etc.

Betrachten wir die Gesamtheit der metamorphischen Schiefer zunächst ausschließlich vom rein mineralogischen Standpunkt, so können wir die beiden schon im Anfang dieser Studie getrennten Ausbildungsformen der normalen und der alpinen Fazies hier besonders deutlich auseinanderhalten, namentlich wenn wir uns mit den charakteristischen Endgliedern befassen. Die schon in der Einleitung auseinandergesetzten Gesichtspunkte kommen bei der Betrachtung der mineralischen Zusammensetzung vollends zum Ausdruck, doch berühren sich diese Erscheinungen aufs innigste mit den beiden Tiefenstufen, welche Becke unterscheidet, so daß erst ein genaueres Eingehen auf diese erforderlich ist, da einesteils in den Gesteinen, welche die durch das Volumgesetz bedingte, gedrängte Molekulargruppierung aufweisen, hydroxylhaltige Silikate eine nicht unbedeutende Rolle spielen, während dieselben Mineralien andererseits in der normalen Fazies der kristallinen Schiefer meist nur eine geringe Entwicklung gewonnen haben. Es „muß also ein Moment geben, welches dem Volumgesetz entgegenwirkt, welches die Vollziehung jener raumsparenden chemischen Prozesse verhindert. Dieses Widerspiel des Volumgesetzes ist die Temperatur“.

„Steigerung der Temperatur kann in einem Gesteinskörper auf verschiedene Weise zustande kommen, vor allem durch größere Tiefe unter der Oberfläche, also Annäherung an die innere Erdwärme, ferner durch Eruptivkontakt . . .“
 „Es ist noch der Fall denkbar, daß Wärme durch mechanische Arbeit oder durch chemische Prozesse erzeugt wird. Solche Vorgänge können nur lokal wirksam sein.“

„Sehen wir von diesen mehr lokalen Wärmequellen ab und ziehen zunächst nur das Erdinnere als allgemein wirksame Wärmequelle in Betracht, so werden wir zu der Vorstellung geführt, daß es innerhalb der Erdrinde zwei Tiefenstufen geben muß: eine tiefere, in welcher die Temperatur so hoch ist, daß die Bildung hydroxylreicher Mineralien ausgeschlossen ist und eine obere, in welcher solche Minerale sich bilden können.“

Diesen Ausführungen Beckes folgt dann nach einigen Erläuterungen die Zusammenstellung der Mineralien, welche für die beiden Stufen charakteristisch sein sollen, geordnet nach ihren wichtigsten Bestandteilen:

	Untere	Obere
	Tiefenstufe	
Al	Disthen, Sillimanit	Disthen
Fe + Al	Almandin	Chloritoid, Granat
Mg	Rhombische Pyroxene, bei Si-Mangel Olivin	Antigorit
Mg + Al	Pyrop, Kordierit	Chlorit
Mg + Ca	Diopsid, Omphazit	Hornblende
Ca + Al	Anorthitsubstanz im Plagioklas	Zoisit, Epidot
Na + Al	Albitsubstanz im Plagioklas bei Si-Mangel Na Al-Silikat in Om- phazit	Albit bei Si-Mangel Glaukophan
Na + Fe	Ägirinsilikat im Omphazit	Na-Hornblenden
K + Al	Kalifeldspat	Muskowit
K + Fe + Mg	Biotit	Biotit
Ti	Rutil	Titanit
	Außerdem Hornblende, Staurolith	Häufig auch Magnetit.

Es ergeben sich daraus als charakteristische Leitminerale:

„Für die untere Stufe: Pyroxen, Granat, Biotit, kalkreiche Plagioklase, Orthoklas, Sillimanit, Kordierit, Olivin.“

„Für die obere Stufe: Zoisit-Epidotgruppe, Muskowit, Chlorit, Albit, Antigorit, Chloritoid.“

„Beiden Zonen gemeinsam sind: Hornblenden, Quarz, Turmalin, Staurolith, Titanit, Rutil.“

Obwohl nun die Schlußsätze mit der vorhergehenden Tabelle eigentlich nicht recht übereinstimmen, muß der ganze hier angenommene chemisch-physikalische Prozeß doch etwas eingehender betrachtet werden. Daß ein gewisses Widerspiel zwischen Druck und Temperatur bei den metamorphen Schiefen vorhanden ist, kann bei einiger Erfahrung nicht übersehen werden. Wenn wir z. B. die Schieferhülle am Groß-Venediger betrachten, so sehen wir, daß in den dem Zentralgranit zunächst gelagerten Schiefen z. B. an Granat und zum Teil auch an Pyroxen reiche Eklogite genau von denselben Gesteinen abgeleitet werden müssen, welche in den äußeren Kontaktzonen zur Bildung von granat- und pyroxenfreien Chloritschiefen Anlaß gegeben haben. In der höheren Temperatur der inneren Kontaktzonen haben sich also hier ganz andere Mineralkombinationen gebildet und vorherrschend solche, welche arm an Hydroxyl sind.

Im übrigen ist in dieser inneren Zone der Biotit spärlich und die sonstigen für die untere Tiefenstufe charakteristischen Mineralien sind hier gar nicht vertreten, während die Mineralien der oberen Tiefenstufe und die gemeinsamen den ferneren Bestand dieser Gesteine ausmachen. Der Unterschied zwischen diesen Eklogiten und den verwandten Chloritschiefen entspricht also noch nicht demjenigen, welchen Becke für seine beiden Tiefenstufen voraussetzt.

Betrachten wir dagegen die Verhältnisse der Gneisformation des Bayerischen Waldes und der Oberpfalz, so trifft man zumal in ersterer eine ganze Reihe von Erscheinungen, welche mit der unteren Tiefenstufe übereinstimmen. Kordierit und Almandin, Biotit, Sillimanit und zum Teil recht basische Plagioklase, lokal auch Orthoklas, mannigfache Pyroxene und endlich Rutil bilden neben Quarz den Hauptanteil dieser Gesteine, in welchen Mineralien der Epidotgruppe mindestens sehr spärlich sind und die übrigen Bestandteile der oberen Tiefenstufe außer dem lokal ziemlich reichlichen Muskowit völlig vermißt werden. Es stimmen also diese kristallinen Schiefer des Bayerischen Waldes mit den von Becke beschriebenen und als typische Repräsentanten seiner unteren Tiefenstufe aufgeführten Schiefen des niederösterreichischen Waldviertels völlig überein, während aus den Zentralalpen z. B. ein wirklich ausgesprochener Typus dieser Art nicht bekannt geworden ist. Die kordieritreichen und glimmerarmen Varietäten der Gesteine des Bayerischen Waldes aber sind im äußeren Habitus wie in der inneren Struktur so zweifelloso, echte Kontaktgesteine, daß irgend ein Zweifel an der Zugehörigkeit zu dieser Gesteinsgruppe gleichbedeutend ist mit einem

Zweifel an der Möglichkeit des Kontaktmetamorphismus überhaupt. Sie gehen durch glimmerreichere Bildungen über in echte Granatglimmerschiefer, in den stark injizierten Bildungen über in normale Kordieritgneise und mit der Entfernung von den granitischen Massen entwickeln sich aus ihnen nicht etwa Gesteine vom Typus der oberen Tiefenstufe, sondern vielmehr weniger grobkristallinische, oft auch recht serizitreiche Knoten- und Fleckschiefer, welche in ausgedehnteren Arealen mit sogenannten Phylliten wechsellagern, die aber ebenso wie die gröber kristallinischen Gesteine z. B. des Silberbergs bei Bodenmais durch Mineralneubildungen von Kordierit, Sillimanit, Granat und Biotit neben denselben Feldspatarten wie jene charakterisiert sind. Es ist unter allen Umständen bei der unteren Tiefenstufe Beckes die absolute Übereinstimmung in Charakter, Lagerungsform, Struktur und Mineralbestand mit den best entwickelten Kontaktgesteinen vorhanden und es entwickelt sich, worauf besonders aufmerksam gemacht werden muß, in einem und demselben Profil niemals die untere zur oberen Tiefenstufe, sondern die beiden sind in typischer Ausbildung nur aus scharf getrennten Gebieten bekannt.

Ich glaube keine allzu gewagte Behauptung aufzustellen, wenn ich annehme, daß die Temperaturen, bei welchen die Granite des Bayerischen Waldes und jene der Zentralalpen kristallisiert sind, nicht als extrem verschiedene angesehen werden können, oder sagen wir noch vorsichtiger, daß kein Grund als eben der durchaus hypothetische Dynamometamorphismus vorliegt, um zwischen den Erstarrungstemperaturen dieser beiden Vorkommnisse überhaupt einen Unterschied zu ahnen. Ich glaube ferner keinem wissenschaftlichen Einwand zu begegnen, wenn ich behaupte, daß alle Hypothesen über die Tiefe, in welcher sich die Granite des Bayerischen Waldes verfestigt haben, ebenso hinfällig sind wie jene, welche von der Tiefenstufe der Zentralalpen etwas lehren wollen.

Die beiden Gesteinsgruppen, welche Becke in seinen Tiefenstufen unterscheidet, sind also tatsächlich vorhanden; es müssen zwei in ihren Endgliedern wohl charakterisierte Typen des Metamorphismus unterschieden werden, aber der Unterschied derselben ist nicht in der größeren oder geringeren Tiefe und in den durch diese bewirkten chemisch-physikalischen Prozessen bedingt, sondern er hat seine Ursache in ganz anderen Faktoren.

Die von Becke aufgestellte Tabelle der beiden Tiefenstufen gibt noch in anderer Richtung zu Ausstellungen Anlaß; ich will hier nur auf seine Magnesia-silikate und den Pyrop hinweisen, welche doch wohl zweckmäßiger dieser Zusammenstellung fern geblieben wären, da sie ganz ausschließlich als Bestandteile

der Peridotite und Pyroxenite auftreten, d. h. von Gesteinen, deren Zugehörigkeit zu den Eruptivgesteinen nicht fraglich sein kann. Überhaupt nimmt die wenig exakte mineralische Scheidung, die in der Natur vorhanden ist, durch die tabellarische Zusammenstellung viel zu sehr das Aussehen eines scharf definierten Gesetzes an. Schließlich ist die Unterscheidung dieser beiden Tiefenstufen eigentlich nichts weiter als ein anderer Name für das, was J. H. L. Vogt als Unterschied zwischen Kontaktmetamorphismus und Regionalmetamorphismus bezeichnet. Die herrschenden Mineralien des ersteren sind annähernd dieselben wie in Beckes unterer Tiefenstufe, wobei namentlich noch der Andalusit, ferner Wollastonit, Vésuvian, Gehlenit und sonstige Kalktonerdesilikate hinzukommen, ihnen gegenüber stehen die „regionalmetamorphen“, in denen Glimmermineralien aller Art neben Hornblende herrschen, und besonders auch Quarz neben Kalkspat vorhanden ist.

Doch lassen wir zunächst diese Verhältnisse auf sich beruhen und gehen zum Volumgesetz selbst über. Ich glaube hier gleich vorausschicken zu müssen, daß ich der Meinung bin, daß die meisten Mineralien, welche für diese Studien in Betracht kommen, eine sehr stabile Beschaffenheit haben, daß namentlich eine innere Entmischung in festem Zustand z. B. bei den Plagioklasen nicht angenommen werden darf, und daß schließlich der Gleichgewichtszustand, welchen die noch beweglichen Moleküle angenommen haben, beständig ist, sobald das Gestein erkaltet, solange nicht durch spätere chemische Einflüsse von außen her eine Beweglichkeit der Moleküle wiederum hervorgerufen wird. Becke sagt im Gegensatz dazu: „Verfolgt man in Gedanken die Geschichte eines kristallinen Schiefers vom Moment seiner Ausprägung bis zu dem, wo wir eine Probe desselben an der derzeitigen Oberfläche sammeln können, so ergibt sich, daß das Gestein eine ganze Folge von Temperatur- und Druckzuständen durchlaufen muß. Wären die Silikate der Gesteine sehr empfindlich für solche Änderungen, so könnten wir gar kein Gestein der unteren Stufe jemals zu Gesicht bekommen; es müßte, während es durch geologische Veränderungen an die Erdoberfläche gebracht wird, die Folge von Gleichgewichtszuständen durchlaufen, die den verschiedenen Temperatur- und Druckstufen entsprechen.“

Das sind doch wohl nichts weiter als leere Spekulationen, welche weder vom physikalischen noch vom petrographischen Standpunkt irgend eine Grundlage haben und die nur dort entstehen können, wo der Theoretiker seiner Theorie zuliebe den Boden der exakten Wissenschaften verlassen hat. Wenn in den oben reproduzierten Sätzen auch nur ein kleines Körnchen Wahrheit vorhanden wäre, so würden doch wohl unsere ganzen Forschungen,

welche auf die Bildungsbedingungen der Gesteine gerichtet sind, völlig in der Luft hängen, da wir eigentlich niemals auch nur einige Sicherheit haben würden, ob ein Gestein in den seiner Kristallisation folgenden Epochen so und so vielmal sich neuen Temperatur- und Druckstufen angepaßt hat, und vielleicht schließlich noch während der Herstellung des Dünnschliffs molekulare Umlagerungen erlitt, welche das Bild seiner ursprünglichen Beschaffenheit weitgehend modifizieren.

Die Annahme einer solchen fortdauernden molekularen Beweglichkeit der Mineralien ist nun allerdings nichts weiter als eine Folge der Voraussetzungen, welche für die Annahme der Umkristallisation der Gesteine nach dem Rieckeschen Prinzip gemacht wurden. Denn wenn unter erhöhtem Druck die Gebirgsfeuchtigkeit genügt, um eine volle Umkristallisation der Gesteine hervorzubringen, so kann sie ja wohl beim Nachlassen des Druckes den Prozeß in rücklaufender Richtung abermals einleiten. Die beobachteten Tatsachen weisen aber keineswegs auf derartige Erscheinungen hin und die molekulare Gruppierung in den Gesteinen ist ein ungemein stabiler Gleichgewichtszustand.

Daran ändern auch die Bemerkungen von Becke nichts, daß man häufig Mineralien einer höheren Tiefenstufe als Neubildungen in Gesteinen der unteren findet, so z. B. die Uralitisierung des Pyroxens, die Saussuritisierung der Plagioklasse etc. Solche Erscheinungen sprechen ja wohl dafür, daß eine ganze Reihe verschiedenartiger chemisch-physikalischer Prozesse über die Gesteine hingegangen ist, aber ebenso beweist ein genaueres Studium solcher Gebiete, daß es nicht einfach das Heraufrücken aus einer tieferen in eine höhere Stufe war, welche eine Art von molekularem Zerfall hervorbrachte, sondern daß diese Umwandlungen viel intensiveren Agentien zugeschrieben werden müssen, welche sich häufig nicht auf eine einfache Umlagerung des schon Vorhandenen beschränkten, sondern auch recht ausgiebige Neubildungen mancherlei Art, Erzmassen etc. mit sich brachten, welche zweifellos Ergebnisse postvulkanischer Prozesse, der thermalen Tätigkeit in erster Linie, darstellen.

Wenn also z. B. ein basisches Eruptivgestein zunächst am Kontakt mit Granit oder gar in Schollen in diesen eingehüllt eine kontaktmetamorphe Umwandlung zu pyroxenreichem Eklogit erleidet, so kann in einer späteren, aber immer noch der granitischen Intrusion angehörigen Periode auf den Klüften dieses neu kristallisierten Gesteins überhitztes Wasser sich ergossen haben, wobei sich der in der hohen Hitze des Stadiums der Kontaktmetamorphose stabilere Pyroxen bei geringerer Temperatur und der starken

Lösungsfähigkeit des überhitzten Wassers zu Uralit umlagert,¹⁾ der gewöhnlich eisen- und tonerreicher als der ursprüngliche Pyroxen ist und sich von diesem auch durch seinen Hydroxylgehalt unterscheidet. Es ist nicht ausgeschlossen, daß diesem zweiten Umwandlungsprozeß ein dritter folgte, bei der weiteren Abnahme der chemischen Energie, welche mit der Temperaturveränderung des Wassers Hand in Hand geht, entstehen noch hydroxylreichere Mineralien, die uralitische Hornblende setzt sich nun vielleicht zu Chlorit, oft gemengt mit Epidotmineralien um und schließlich kann noch weiterhin ein Aggregat von Quarz mit Karbonaten den Schluß des Prozesses darstellen.

Wenn ich oben die Stabilität der Moleküle in den Gesteinen betont habe, so stehen solche Beobachtungen damit scheinbar im Widerspruch. Aber bei den soeben geschilderten Verhältnissen handelt es sich doch gar nicht um einfache physikalische Umlagerungen, sondern vielmehr um ausgesprochen chemische Prozesse, welche von Änderungen in der Gesteinszusammensetzung begleitet sind und bei denen Auflösung und Wiederabsatz des Gelösten die Hauptrolle spielen. Die Wirksamkeit der verschiedenen Stadien der post-vulkanischen Tätigkeit ist bedingt durch die Aktionsfähigkeit chemischer Agentien, welche lokal die Gesteine beeinflußt haben und daher auch nur lokal ihre Wirkung entfaltet und der Unterschied, welcher hier festgestellt werden muß, beruht auf der Verschiedenheit der angenommenen Agentien; gegenüber von der chemischen Wirksamkeit, welche dem überhitzten Wasser, den mannigfachen Thermen und den sonstigen sogenannten Mineralbildnern bei der Umsetzung der gesteinsbildenden Mineralien zukommt, sind die rein physikalischen Prozesse molekularer Umlagerung von sehr geringer Bedeutung. Die Verhältnisse von Temperatur und Druck beeinflussen die fertiggebildeten Mineralien nur in ganz extremen Fällen und auch die Einschiebung des alles durchdringenden Wassers, das man zur gesättigten Gesteinslösung werden läßt, kann an der Rechnung nur wenig ändern.

¹⁾ Es muß hier auf einen Vorwurf eingegangen werden, welchen Sauer in seinem Vortrag gegen eine Abhandlung von Düll über die Eklogite der „Münchberger Gneisplatte“ erhebt. Wenn dort der Eklogit lokal von Klüften aus zu grüner, blätteriger Hornblende mit Plagioklas umgewandelt ist, so ist dieses Aggregat doch wohl nicht schlechtweg als Gabbro zu bezeichnen, zumal da der Plagioklas in solchen Bildungen meist Albit ist. Daß aber in diesen Vorkommnissen ein Beweis dafür erbracht sein soll, daß die Eklogite nicht aus Gabbro hervorgegangen sind, weil sich ersterer von Klüften aus in letzteren umwandelt, ist völlig unverständlich. Wenn man jenes Stadium der Umwandlung betrachtet, in welchem die Schollen des basischen Eruptivgesteins im Granitbad schwammen, so muß doch wohl die erhöhte Temperatur und die mineralbildenden Agentien die neue Molekulargruppierung stark modifiziert haben. Deshalb braucht aber die nun erreichte Gleichgewichtslage keineswegs in allen späteren Perioden, so z. B. in jener der thermalen Tätigkeit, stabil gewesen zu sein. Über die „bekannten Eruptivkontaktgesteine“, welche Sauer in dem erwähnten Gebiete vermißt, wird an anderer Stelle berichtet.

Wenn Grubenmann in weiterer Ausführung dieses Gedankens von Becke (l. c., S. 31) davon spricht, daß Tone bis 10 %, Tonschiefer und Phyllite 3 %, Eruptivgesteine bis 2 % Gebirgsfeuchtigkeit enthalten, so wird diesen scheinbar exakten Bestimmungen gegenüber doch immerhin ein gewisses Maß von Zweifel angebracht sein. Ich selbst habe in dieser Richtung seit Jahren ausgedehnte Versuche gemacht, deren Resultate in absolutem Gegensatz zu den Angaben von Grubenmann stehen und erweisen, daß in einigermaßen verbandfesten Gesteinen wenigstens das hygroskopische Wasser ganz bedeutungslos ist, zumal wenn diese aus bedeutender Tiefe unterhalb des Grundwasserspiegels stammen.

Die Frage nach dem Vorhandensein der Gebirgsfeuchtigkeit in solchen Erdtiefen, welche für den Dynamometamorphismus in Betracht kommen, ist natürlich schwierig definitiv zu entscheiden. In zahlreichen tiefen Bergwerken aber wurde die Beobachtung gemacht, daß die Gesteine um so mehr stauben, je tiefer der Betrieb geht, und daß sie in gewissen Tiefen unter dem Grundwasserspiegel als wasserfrei anzusehen sind. Es ist nun allerdings schwierig, diese Beobachtungen analytisch zu belegen, hauptsächlich deshalb, weil pulverisierte Materialien — und wir können zur chemischen Analyse doch nur feinste Pulver gebrauchen — zumal wenn sie vorherrschend aus feinschuppigen Teilen zusammengesetzt sind, ungemein stark hygroskopische Eigenschaften haben. Wenn man also das an sich trockene Gestein, welches aus der Tiefe gebracht wird, pulverisiert und für die Analyse vorbereitet, so genügt dieser Prozeß allein schon, um den Wassergehalt um einige Zehntel Prozent zu erhöhen. Ich selbst habe bei getrockneten, feinschuppigen Substanzen beim Stehen in der Luft des Laboratoriums in 24 Stunden Gewichtszunahme bis zu 15 % beobachtet, welche im Exsikkator über Schwefelsäure nicht wieder zu entfernen waren, so daß mir auch die analytischen Belege der allgemein vorhandenen Gebirgsfeuchtigkeit als der Kritik nicht völlig unzugänglich erscheinen.

Wenn man aber nun vollends annehmen soll, die Quantität Feuchtigkeit, welche durchschnittlich die Analysen kompakter Gesteine ergeben, und von welchem man den nachweisbaren Hydroxylgehalt der beteiligten Mineralien abziehen muß, zirkuliere als eine Art gesättigter Lösung in einem kompakten Granit oder Kalkstein, deren spezifisches Gewicht ziemlich genau gleich ist mit dem proportionalen seiner Komponenten, und deren Druckfestigkeit bis 2000 kg pro qcm geht, so scheint mir doch auch hier wieder einmal der Boden der realen Tatsachen verlassen worden zu sein der Theorie zuliebe, welche bewiesen werden muß. Es handelt sich auch hier um abstrakte Spekulationen, die mit der Wirklichkeit nichts zu tun haben.

Daß zwischen den hier anzunehmenden Prozessen und jenen der Kontaktmetamorphose resp. der postvulkanischen Tätigkeit ein gewaltiger Unterschied vorhanden ist, liegt auf der Hand. Hier in einem starren, kompakten Gestein, das durch die Gewalt der Zusammenpressung noch kompakter wird, bei einer in der oberen Tiefenstufe wenigstens doch wohl nicht allzu hoch anzunehmenden Temperatur eine vielleicht 0,5 % oder wahrscheinlich noch weniger betragende Lösung der einzelnen Bestandteile, welche noch dazu so schwer in Wasser löslich sind, daß sich ihr gelöstes Quantum doch höchstens nach zehntausendstel Prozenten berechnet. Und nun diese an sich noch hypothetische Lösung zirkulierend in dem Gestein und durch die verhältnismäßig wieder minimalen Löslichkeitsveränderungen durch Zug und Druck nach dem Riecke'schen Gesetz befähigt, innerhalb von Perioden, welche durchaus nicht als unendlich angesehen werden können, das ganze Gestein neu zu gestalten!

Wir wissen nun allerdings herzlich wenig über die Zeitdauer, welche man eventuell solchen Prozessen beimessen kann, aber es ist doch zweifellos, daß lokal, z. B. in Attika, noch sehr junge Gesteine den Habitus der kristallinen Schiefer angenommen haben und ebenso sicher ist, daß die einzelnen Faltungsperioden, welche wir in den Alpen unterscheiden können, nicht durch ganze Formationen hindurch angedauert haben. Und wenn auch solche Faltungen im Gebiete der Alpen in mehrfacher Wiederholung nachweisbar sind, so sind dieselben doch ebenso sicher geschieden durch Perioden, in welchen der Druck wieder normal geworden war. Demgegenüber stehen die Äußerungen der vulkanischen Tätigkeit, deren intensives Eingreifen in den Mineralbestand präexistierender Gesteine keinem zweifelhaft sein kann, der die Umgebung der gewaltigen Granitstöcke des Fichtelgebirges oder Bayerischen Waldes, des Erzgebirges oder der Vogesen gesehen hat. Denn hier ist es nicht die untergeordnete, nur in Spuren vorhandene Lösung, welche die Gebirgsfeuchtigkeit darstellt, hier sind es zweifellos recht bedeutende Quantitäten einer mit zahlreichen, kräftigen Agentien versehenen, überhitzten Lösung, welche unter hohem Druck zum Teil als gasförmige Massen in die durch die Intrusion an sich schon erschütterten Gestein eingepreßt wurden, wobei die erhöhte Temperatur des Massengesteins mindestens eine partielle Erweichung und daher eine innige Mischung von Nebengestein und mineralbildenden Agentien bewirkte, welche doch wohl ganz andere Resultate ergeben mußte.

Die weitere Betrachtung führt uns nun zu dem Volumgesetz, welches in der Deutung der kristallinen Schiefer eine so bedeutende Rolle spielt. Seine physikalische Grundlage ist zweifellos richtig: daß eine unter hohem Druck kristallisierende Substanz die Tendenz hat, jenen Gleichgewichts-

zustand einzunehmen, in welchem sie das kleinste Volumen hat. Man wird daher von verschiedenen Modifikationen einer und derselben Substanz folgerichtig unter hohem Druck jene mit dem höchsten spezifischen Gewicht erwarten dürfen. Unter hohem Druck kristallisiert also die Titansäure als Rutil, das basische Tonerdesilikat als Disthen oder der Kohlenstoff als Diamant, wobei aber offenbar für die Erreichung der Gleichgewichtsbedingungen des letzteren Minerals ein sehr viel höherer Druck notwendig ist, als er bei den Prozessen des Dynamometamorphismus überhaupt angenommen werden kann. Oder aus einer gemischten Lösung kristallisieren jene Molekulargruppen, welche für die gegebene Modifikation das kleinste Volumen einnehmen, an Stelle von basischen Plagioklasen also z. B. Gemenge von saurem Plagioklas¹⁾ mit Klinozoisit. Endlich wird unter diesen Verhältnissen, welche auch das Entweichen gasförmiger Agentien erschweren, selbst bei sehr hoher Temperatur das Wasser in die Konstitution der neugebildeten Mineralien eintreten und bei der gegenseitigen Einwirkung von freier Kieselssäure und Kalkspat nicht etwa die voluminöse Kombination von Kohlensäure und Kalksilikat gebildet, welche unter normalem Druck entsteht, sondern es kristallisiert die viel gedrängtere Kombination von Quarz und Kalkspat.

Es ist also zweifellos, daß das Volumengesetz unter Umständen eine ziemlich bedeutung für die Ausgestaltung der Gesteine erhalten kann und es muß daher auch in diesem Zusammenhang eingehender betrachtet werden.

Becke gibt eine sehr instruktive Berechnung des Molekularvolumens aller in Betracht kommenden Mineralien, wobei allerdings wieder einige praktische Bedenken an den theoretischen Ableitungen sich einstellen. Wir wissen bekanntlich gar nichts über die Konstitution der Mineralien, zumal nichts über die Größe ihrer Moleküle und während wir bei organischen Körpern das spezifische Molekularvolumen mit voller Sicherheit feststellen können, ist diese Feststellung bei anorganischen Körpern in sehr viel engerem Maße durchführbar. In welcher Richtung sich die Fehler dieser Darstellung bewegen, geht z. B. daraus hervor, daß Becke für den Dolomit, den er wohl richtig als Doppelsalz auffaßt, die Summe der Molekularvolumina seiner Komponenten

¹⁾ Aus diesen Verhältnissen ergibt sich eine einfache Erklärung der Differenzen zwischen meinen Beobachtungen im Gebiete der Alpen in Bezug auf die Umkristallisierung basischer Plagioklase durch Kontaktmetamorphose und jenen, welche Erdmannsdörfer im Harz machte (O. H. Erdmannsdörfer, Über die Umwandlung von Diabasfeldspaten und Kontakthöfen von Tiefengesteinen. Monatsber. Deutsch. Geol. Ges., 1904, 56, Heft 4). Die Umkristallisation von basischem Plagioklas kann unter normalem Druck zu einem Mosaik ebenso zusammengesetzter Körner führen, unter erhöhtem Druck aber ist Saussurit beständiger. Übrigens dürfte l. c. die Bestimmung eines Diabasfeldspats als Oligoklas doch eingehender belegt sein, das Gewöhnliche ist das zum mindesten nicht.

berechnet, so daß dieses annähernd doppelt so groß wird wie bei Kalkspat oder Magnesit. Ganz derselbe Einwand ist zu machen bei der Vergleichung der Pyroxen- und der Hornblendegruppen, von welchen erstere als $R_2 Si_2 O_6$, letztere als $R_4 Si_4 O_{12}$ angenommen werden, eine Hypothese, welche zwar von mancher Seite akzeptiert ist, aber in den Analysen und dem chemischen Verhalten dieser Mineralien überhaupt nur sehr wenig Stütze findet. Gerade der letzte Fall ist besonders bemerkenswert, weil dadurch die Amphibole etwa das doppelte Molekularvolumen erhalten als die Pyroxene und doch sollen nach der Theorie der Dynamometamorphose die ersteren die typischen Mineralien der oberen Tiefenstufe sein, in welcher doch das Volumgesetz unbeschränkt wirkt. Daß die komplizierter zusammengesetzten Silikate, deren Analysen nicht durch einfache Formeln ausgedrückt werden können wie Skapolith, der Sodalith oder der Vesuvian ganz besonders hohe Zahlen für ihr spezifisches Molekularvolumen erhalten müssen, liegt auf der Hand. Für den Turmalin ist diese Berechnung leider nicht durchgeführt, er würde wohl, nach demselben Schema behandelt, das höchste Molekularvolumen erreichen.

Um nun die hier gerügten Mißstände einigermaßen zu eliminieren, wird neben die so zusammengestellten „beobachteten“ Molekularvolumina, welche aber doch eigentlich nicht beobachtet, sondern unter Zuhilfenahme nicht einwandfreier Theorien berechnet sind, die sogenannten „berechneten“ gestellt, welche in der Hauptsache die Summe der spezifischen Molekularvolumina der Komponenten darstellen; z. B. Forsterit „berechn.“ $Mol.-Vol. 45,5 = 2 MgO + SiO_2 = 22,6 + 22,8$ oder Spinell $= 36,5 = MgO + Al_2O_3 = 11,3 + 25,2$ etc. Inwieweit die chemisch-physikalische Erfahrung dieser Rechnungsart Recht gibt, entzieht sich meiner Kenntnis, ich glaube aber, daß die ganze Grundlage dieser Berechnungen verfehlt ist. Es ergibt sich dies zur Evidenz bei den Karbonaten, deren „berechnetes“ Mol.-Vol. durchschnittlich mehr als doppelt so hoch ist als ihr „beobachtetes“, es ergibt sich dies aber ebenso auch bei der Betrachtung der Silikate, deren „berechnetes“ Mol.-Vol. sehr lebhaft verändert würde, wenn z. B. in der Rechnung an Stelle des Quarzes die Modifikation des Tridymits eingesetzt würde, also z. B. bei Sillimanit „berechn.“ $Mol.-Vol. = 48,0$, „berechn.“ aus Tridymit + Korund aber $= 51,6$, während das beobachtete nur 50,2 beträgt. Und diese Differenz hat nun für die folgenden Ableitungen von Becke grundlegende Bedeutung.

Unter hohem Druck sollen sich nach den weiteren Ausführungen vorherrschend jene Mineralien bilden, deren „beobachtetes“ Mol.-Vol. kleiner ist als das berechnete, die entgegengesetzten sollen als typische Kontaktminerale auftreten. Betrachten wir — ohne damit gleichzeitig die Richtigkeit der

Grundlagen der Berechnung zuzugeben — die ausführliche Tabelle, welche Becke in dieser Richtung gibt, so sind, um nur einige Beispiele von Silikaten anzuführen, unter den Mineralien, welche ein größeres „berechnetes“ Mol.-Vol. haben, gerade die allertypischsten Kontaktminerale vorhanden, z. B. Forsterit, Diopsid, Grossular etc., und der so oft betonte Unterschied in der Verteilung von Pyroxen und Amphibol verschwindet in der betreffenden Zusammenstellung völlig, da alle Glieder beider Gruppen ein höheres „berechnetes“ Mol.-Vol. erhalten. Es ist doch wohl eine etwas schwankende Grundlage für die ganze Theorie, welche in dieser Tabelle und den daraus abgeleiteten Schlußfolgerungen geboten wird.

An diese Tabelle schließen sich nun die sogenannten „Volumgleichungen“ an, welche besonders eingehend besprochen werden müssen, da diese Berechnungen sich namentlich für den Nichteingeweihten sehr überzeugend ausnehmen, in der Tat aber so viele Mängel aufweisen, daß sie nur mit schärfster Kritik betrachtet werden dürfen. Es mag ja gerne zugegeben werden, daß es bei der komplizierten Zusammensetzung zahlreicher, gesteinsbildender Silikate nicht gerade einfach ist, eine nicht allzu komplizierte Darstellung dieser Verhältnisse zu bringen. Indes ist, wie der Schluß zeigen wird, dieser ganze Apparat für die hier in Betracht kommenden Verhältnisse überhaupt nicht nötig, so daß er eigentlich mehr den Eindruck eines hübschen, aber keineswegs einwandfreien Dekorationsstückes macht.

Wenn also z. B. Becke bei der Umwandlung von Diabas in Grünschiefer auf der einen Seite die Formel des Augits schlechtweg als $\text{MgCaSi}_2\text{O}_6$ aufführt so bedeutet das gewiß schon eine sehr bedeutende Vereinfachung gegenüber von den natürlichen Verhältnissen, doch mag das der gesuchten Einfachheit gegenüber noch angehen.

Wenn er aber dem gesuchten Granat des Amphibolits die Formel $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ zuschreibt, d. h. jene des nur in Kontaktkalken vorkommenden Grossulars, so hätte ihn eine kurze Übersicht der Granatanalysen aus Schieferen aller Art davon überzeugen müssen, daß diese sich stets durch sehr geringen Kalkgehalt auszeichnen und in der Hauptsache Eisenoxydulgranaten sind. Ebenso wenig handelt es sich beim Eklogit um Magnesiagranaten, wie Becke berechnet, sondern wiederum weit vorherrschend um Eisenoxydulgranat, und wenn diese eingesetzt werden, dann stimmt, trotz der Vereinfachung der Formeln, die ganze Rechnung nicht mehr. Und derartige Inkonssequenzen setzen sich das ganze System hindurch fort, die aber bei den Ableitungen von Grubenmann so exaltiert werden, daß ich mich genötigt sah, einige von dessen Beispielen genauer umrechnen zu lassen. Beispiel: (Grubenmann, Krist. Schiefer, S. 35).

Diorit kann übergehen in		Pyroxengneis	
Andesin	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Na AlSi}_3\text{O}_8 \\ \text{Ca Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \end{array} \right\}$	100,30 101,10	Albit $\text{Na AlSi}_3\text{O}_8$ 100,3
Hornblende	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Ca Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{12} \\ \text{Ca Fe}_3\text{Si}_4\text{O}_{12} \end{array} \right\}$	140,50	Augit $\left\{ \begin{array}{l} 2 \text{Ca MgSi}_2\text{O}_6 \\ \text{Ca FeSi}_2\text{O}_6 \\ \text{Fe Al}_2\text{SiO}_6 \end{array} \right\}$ 68,2
Hämatit	$4 \text{Fe}_2\text{O}_3$	121,12	Magnetit $3 \text{Fe}_3\text{O}_4$ 139,2
			Quarz 3SiO_2 68,4
		463,02	376,1

Das Molekularvolumen bei dieser dynamometamorphen Umwandlung vermindert sich also von 463 auf 376, also um 18,8 %, was zu beweisen war. Die einzelnen Fehler der Zusammenstellung sollen kurz aufgeführt werden. Erstens wird für die isomorphe Mischung des Andesins das doppelte Molekularvolumen, d. h. jenes von Albit + Anorthit genommen, für die übrigen: Hornblende und Augit nur der Durchschnitt derselben, es entspricht die Aufstellung also zunächst zwei Teilen Andesin zu einem Teil Hornblende. Zweitens stehen die Formeln von Hornblende und Augit in verkehrtem Verhältnis: die Hornblende der Diorite ist stets tonerdereich und zwar so reich daran, daß die Tonerde auch „der Einfachheit halber“ nicht übergangen werden darf, dagegen sind die Pyroxene zumal der kristallinen Schiefer stets viel tonerdeärmer, die Formel derselben könnte mit viel kleinerem Fehler ohne Tonerde geschrieben werden. Daß die Hornblende mit doppeltem Molekularvolumen gegenüber von Augit auftritt, ist von Becke übernommen und, wie schon oben gezeigt, eine besondere Schwierigkeit für die fast ständige Uralitisierung des Pyroxens in kristallinen Schiefen. Des ferneren stimmt auch die Atomzahl auf beiden Seiten der Gleichung nicht miteinander überein. Rechts ergibt sich die Formel: $\text{Na Ca}_3 \text{Mg}_3 \text{Fe}_3 \text{Al}_3 \text{Fe}_3 \text{Si}_{13} \text{O}_{52}$, links: $\text{Na Ca}_3 \text{Mg}_2 \text{Fe}_3 \text{Al}_3 \text{Fe}_6 \text{Si}_{13} \text{O}_{50}$. Durch einfachen Dynamometamorphismus ist diese Änderung nicht möglich.

Berechnen nun wir aber die prozentische Zusammensetzung des Gebildes, welches Grubenmann Diorit nennt, so kommt man unter Annahme von 2 Mol. Plagioklas entsprechend den Zahlen von Grubenmann zu dem Resultat:

25,6 % Plagioklas,
44,1 % Hornblende,
30,3 % Hämatit.

Es ist dies jedenfalls ein Mineralaggregat, welches eher als Eisenerz denn als Diorit bezeichnet werden kann, und das in der Natur nicht vorkommt,

und ebenso rein theoretisch zusammengestellt ist wie die Zusammensetzung der einzelnen Mineralien. Analog berechnet sich der Pyroxengneis zu:

12,8 % Albit,
44,6 % Augit,
33,8 % Magnetit,
8,8 % Quarz.

d. h. ein Gestein, das ebensowenig existiert wie das Ausgangsmaterial. Diese Formulierungen sind somit die allerunerfreulichsten Erscheinungen an den gesamten modernen Ausführungen über den Dynamometamorphismus, weil sie auf den ersten Blick den Eindruck exakter Formeln erwecken, bei genauerer Zergliederung in jeder Richtung verfehlt sind.

Um etwa zu sehen, wie sich ein wirklicher Diorit unter solchen Umständen verhalten müßte, ließ ich unter möglichster Zugrundelegung natürlicher Verhältnisse eine Berechnung durchführen: Als Zusammensetzung der Hornblende wurde die Analyse einer solchen aus Diorit von Schwarzenberg bei Barr, Vogesen (Rosenbusch, Elemente der Gesteinslehre, 1. Aufl., S. 137, Nr. 4) benützt, welche sich unter der Annahme, daß die Kieselsäurebestimmung, wie dies häufig der Fall ist, etwas zu niedrig ausgefallen ist, berechnet zu:

$(\text{Na}_2\text{O})_4 \text{K}_2\text{O} (\text{Al}_2\text{O}_3)_5 (\text{SiO}_2)_{20}$ Glaukophan,
 $(\text{MgO})_9 (\text{CaO})_5 (\text{FeO})_3$ } $(\text{SiO}_2)_{17}$ Gemeine Hornblende,
 $(\text{Al}_2\text{O}_3)_{10} (\text{Fe}_2\text{O}_3)_7$ }
 $(\text{MgO})_{22} (\text{CaO})_{16} (\text{FeO})_{10} (\text{SiO}_2)_{48}$ Strahlstein.

Es ist also eine ziemlich normale, dioritische Hornblende, in welcher vielleicht nur das Glaukophansilikat etwas zu stark vertreten ist. Berechnen wir nun unter Zugrundelegung dieser Hornblende einen Diorit, dessen Verhältnisse mit 74 % Andesin, 25 % Hornblende und 1 % Magneteisen wohl allgemein als typisch für diese Gesteine anzusehen sind.

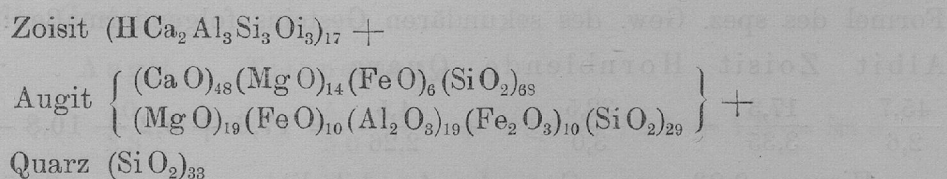
	74 % Andesin	25 % Hornblende	1 % Magneteisen
SiO ₂	42,55	10,76	—
Fe ₂ O ₃	—	2,46	0,72
Al ₂ O ₃	19,98	3,33	—
FeO	—	2,05	0,28
MgO	—	2,66	—
CaO	6,59	2,54	—
K ₂ O	—	0,20	—
Na ₂ O	4,88	0,50	—
H ₂ O	—	0,54	—

Daraus Gesamtzusammensetzung des berechneten Diorits I; daneben zum Vergleich Diorit vom Lichtenberg im Odenwald (Rosenbusch, Elemente der Gesteinslehre, 1. Aufl., S. 140, Nr. 14).

	I	II
SiO ₂	53,31	53,63
Fe ₂ O ₃	3,18	3,53
Al ₂ O ₃	23,31	21,54
FeO	2,33	3,87
MgO	2,66	2,38
CaO	9,13	9,23
K ₂ O	0,20	0,45
Na ₂ O	5,38	3,63
H ₂ O	0,54	1,18

Soweit die chemische Zusammensetzung zweier Gesteine miteinander übereinstimmen kann, ist also die Übereinstimmung hier vollständig, der berechnete Diorit ist in der Natur möglich.

Berechnen wir nun aus den erhaltenen Zahlen einen Pyroxengneis, so ergeben sich aus 5,38% Na₂O zunächst 45,7% Albit, der Rest läßt sich aber keineswegs in Augit, Quarz und Magneteisen zerlegen, sondern erfordert zunächst die Ausscheidung eines Kalktonerdesilikates, wie es an sich doch von vornherein klar sein sollte, wenn man ein Aggregat von basischem Plagioklas in ein solches von Albit überführt. Berechnen wir das auf Zoisit, so geht die Rechnung fast glatt auf in:



oder die Gesamtzusammensetzung ist =

45,7% Albit + 17,3% Zoisit + 32,5% Augit + 4,5% Quarz.

Der ursprüngliche Diorit geht über in Pyroxengneis:

74% Andesin,	45,7% Albit,
25% Hornblende,	17,3% Zoisit,
1% Magneteisen,	32,5% Augit,
	4,5% Quarz.

Wir erhalten die einfachsten Vergleichsziffern für die Volumina der beiden Gesteine, indem wir einfach die betreffenden Prozentzahlen mit dem spezifischen

Gewicht des betreffenden Minerals dividieren und so das mittlere spezifische Gewicht des Gesteins bestimmen:

$$\begin{array}{ccccc} \text{Andesin} & & \text{Hornblende} & & \text{Magneteseisen} \\ \frac{74}{2,67} & + & \frac{25}{3,0} & + & \frac{1}{5,2} = 27,7 + 8,3 + 0,2 = 36,2. \end{array}$$

Daraus folgt $\frac{100}{36,2} = 2,76$: spez. Gew. des Diorits.

$$\begin{array}{cccc} \text{Albit} & \text{Zoisit} & \text{Augit} & \text{Quarz} \\ \frac{45,7}{2,6} & + & \frac{17,3}{3,35} & + & \frac{32,5}{3,3} & + & \frac{4,5}{2,65} = 17,6 + 5,2 + 9,85 + 1,7 = 34,35. \end{array}$$

Daraus $\frac{100}{34,35} = 2,92$: spez. Gew. des Pyroxengneises.

Es ist also tatsächlich eine Volumverminderung vor sich gegangen, und diese Umwandlung würde daher unter den Verhältnissen der Dynamometamorphose nach dem Volumgesetz möglich sein. Bekannt ist mir aber der Fall nicht, daß neben der Saussuritisierung des Plagioklases sich die Hornblende zu Augit umsetzt, vielmehr ist das tatsächliche Verhältnis der beiden letzteren Mineralien das entgegengesetzte. Man wird also obige Zusammenstellung modifizieren müssen und zwar zunächst in der Richtung, daß man auch in dem Umwandlungsprodukt an Stelle des Augits Hornblende einsetzt, was bei der überhaupt nur den Wert einer Skizze beanspruchenden Rechnung und der nahen Übereinstimmung in der chemischen Zusammensetzung zwischen Augit und Hornblende ohne weiteres statthaft ist. Dann verändert sich die Formel des spez. Gew. des sekundären Gesteins folgendermaßen:

$$\begin{array}{cccc} \text{Albit} & \text{Zoisit} & \text{Hornblende} & \text{Quarz} \\ \frac{45,7}{2,6} & + & \frac{17,3}{3,35} & + & \frac{32,5}{3,0} & + & \frac{4,5}{2,26} = 17,6 + 5,2 + 10,8 + 1,7 = 35,3. \end{array}$$

Hieraus 2,83: spez. Gew. des Amphibolits.

Man sieht, daß durch diese in den natürlichen Verhältnissen durchaus gebotene Ersetzung des Augits durch Hornblende die Volumverminderung in letzterem Gestein um über 50 % geringer wurde; der Unterschied ist recht klein geworden. Stellt man aber endlich an Stelle des ursprünglichen Hornblendediorits einen Augitdiorit in Rechnung, so ergibt sich für diesen:

$$\begin{array}{ccccc} \text{Andesin} & & \text{Augit} & & \text{Magneteseisen} \\ \frac{74}{2,67} & + & \frac{25}{3,3} & + & \frac{1}{5,2} = 27,7 + 7,6 + 0,2 = 35,5. \end{array}$$

Hieraus 2,82: spez. Gew. des Augitdiorits.

Es erscheint jetzt die Volumverminderung bei der Saussuritisierung des Plagioklases mehr als ausgeglichen durch die Volumvermehrung bei der Uralitisierung des Augits. Bei dem den natürlichen Verhältnissen am meisten entsprechenden Vorgang der Umwandlung eines Augitdiorits in einen Amphibolit tritt somit eine Volummehrung um 0,01 ein. Der Prozeß, dessen Resultate wir in der Natur häufig genug im Bereich der kristallinen Schiefer beobachten, ist somit unter der Wirkung des Volumgesetzes gar nicht möglich. Man sieht aber aus obiger Zusammenstellung von Gleichungen und deren gegenseitigem Verhältnis, daß den Volumgleichungen keineswegs jene Bedeutung zukommt, welche sie in den Ausführungen von Becke und Grubenmann besitzen. Vor allem aber muß betont werden, daß die bedeutenden Volumunterschiede, welche berechnet wurden, in der Hauptsache nur in der Annahme von Verhältnissen begründet sind, welche von den natürlichen weit abweichen.

Ganz ähnliche Erfahrungen machen wir, wenn wir z. B. die Grünschieferbildung aus Diabas berechnen. Als ursprüngliche Zusammensetzung habe ich für den Diabas angenommen: 55% Labrador (2 Ab + 3 An), 40% Augit (49,00 SiO₂, 4,10 Al₂O₃, 2,39 Fe₂O₃, 15,55 FeO, 12,31 MgO, 16,29 CaO, entsprechend der Analyse eines Diabasaugits in Rosenbusch, Elemente der Gesteinslehre, 1. Aufl., S. 321, Nr. 4), und endlich 5% Titaneisen. Die nach dem oben gegebenen Schema vorgenommene Umrechnung ergibt einen Amphibolit von der ungefähren Zusammensetzung: 21,24% Albit, 12,26% Titanit, 62,97% Grüne Hornblende, 3,53% Quarz. Es wird nun die Formel der spezifischen Gewichte beider Gesteine:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{Labrador} & & \text{Augit} & & \text{Titaneisen} & & \\ \frac{55}{2,7} & + & \frac{40}{3,3} & + & \frac{5}{5,0} & = & 20,4 + 12,1 + 1,0 = 33,5. \end{array}$$

Hieraus 2,97: spez. Gew. des Diabases und

$$\begin{array}{ccccccc} \text{Albit} & \text{Hornblende} & \text{Titanit} & \text{Quarz} & & & \\ \frac{21,2}{2,6} & + & \frac{62,97}{3,0} & + & \frac{12,3}{3,5} & + & \frac{3,5}{2,65} = 8,1 + 21,0 + 3,5 + 1,3 = 33,9. \end{array}$$

Hieraus 2,95: spez. Gew. des Grünschiefers.

Das Resultat dieser Umwandlung, welche doch wohl zu den am weitesten verbreiteten überhaupt gehören dürfte, weist also wiederum nicht auf eine besondere Wirkungsweise des Volumgesetzes. Eine ganz genaue und in das Detail des Prozesses eingehende Berechnung, welche vor allem den zweifellos stets vorhandenen Hydroxylgehalt der Hornblende berücksichtigte, würde zwar

eine kleine Veränderung der Zahlen bedingen und ihr gegenseitiges Verhältnis vielleicht umkehren, aber auch dann noch zeigt sich klar, daß die von Becke und Grubenmann so in den Vordergrund gestellten Veränderungen des Volumgesetzes beim Übergang von Eruptiv- oder Sedimentgesteinen in kristallinische Schiefer jedenfalls nicht die Bedeutung haben, welche ihnen dort, der Theorie der Dynamometamorphose zuliebe, zugeschrieben wird.

Das von mir als Maßstab für die Berechnung des Volumens eines Gesteins eingeführte mittlere spezifische Gewicht hat sich dabei als ein sehr viel einfacheres und mindestens ebenso gutes Hilfsmittel für die Berechnung der Volumveränderung erwiesen als das von Becke verwendete Molekularvolumen. Da das letztere stets mit den theoretischen Ableitungen über die Konstitution der Silikate belastet ist, welche absolut ohne Beweis bleiben, so ist die von mir vorgeschlagene Art der Berechnung viel exakter und einwandfreier und gibt bei aller Einfachheit der Verhältnisse ein absolut klares Bild.

Als wichtigstes Ergebnis der von mir ausgeführten Berechnungen möchte ich nochmals betonen, daß diese exakte Rechnungsmethode im Gegensatz zu den mehr oder minder beliebigen Zahlen, wie sie namentlich Grubenmann zusammenstellt, bei vollständiger Anlehnung an die in der Natur beobachteten und genau studierten Verhältnisse Resultate ergibt, die äußerst ernüchternd wirken. Die gesamten Änderungen der Volumina, welche bei den beiden so sehr verschiedenen Beispielen der Umwandlung eines sauren und eines basischen Eruptivgesteins gefunden wurden, sind so minimal, daß sie völlig innerhalb der Fehlergrenze der Berechnungsmethoden fallen und weder in dieser noch in jener Richtung als Stützen irgend einer Theorie dienen können.

Daß das Volumgesetz als solches richtig ist, scheint mir nicht zweifelhaft zu sein, aber die Berechnungen, welche aus den Volumgleichungen abgeleitet worden sind, beziehen sich zum großen Teil gar nicht auf Verhältnisse, welche in der Natur überhaupt möglich sind, und sie erscheinen außerdem noch unzuverlässiger infolge der Unmöglichkeit, das Molekularvolumen eines Silikates überhaupt festzustellen.

Unter bestimmten Umständen kann die Zusammenpressung eines Gesteins zu molekularen Umlagerungen führen, welche sich in der durch das Volumgesetz angedeuteten Richtung vollziehen, aber diese bestimmten und in den natürlichen Erscheinungen sehr wohl zu ermittelnden Umstände sind nicht diejenigen, welche die neuen Deduktionen des Dynamometamorphismus in den Vordergrund stellen wollen. Ich glaube, nachdem ich diese im einzelnen eingehend zergliedert habe, berechtigt zu sein, zu sagen, daß im ganzen

Bereich der exakten Wissenschaften sich nur selten eine Theorie nebst ihrer ganzen Beweisführung soweit von dem Boden der realen Tatsachen entfernt hat und so sehr zu subjektiver Spekulation geworden ist als der Dynamometamorphismus in der neuen Ausgabe, wie er von Becke und Grubenmann dargestellt wird. Wenn auch kein Zweifel an der Richtigkeit der diesen Ableitungen zu Grunde liegenden physikalischen Gesetze möglich ist, so zeigen alle theoretischen wie praktischen Untersuchungen doch zur Genüge, daß die Art der Anwendung dieser Gesetze eine falsche ist. All die zahlreichen Voraussetzungen über das physikalische Verhalten der gesteinsbildenden Mineralien, welche schließlich nur einen im höchsten Grad labilen, von den äußeren Verhältnissen fortgesetzt abhängigen Gleichgewichtszustand darstellen sollen, die Annahme der auf den Poren der Gesteine in Form einer gesättigten Lösung zirkulierenden Gebirgsfeuchtigkeit, die Berechnungen der Volumveränderung unter der Wirkung des Volumgesetzes stehen in direktem Gegensatz zu den tatsächlichen Verhältnissen. Und daß auch schon Becke einen Teil dieser Schwierigkeiten lebhaft empfand, beweist der Schritt, den er in seinen letzten Ausführungen gemacht hat, in welchen er die juvenilen Wässer der granitischen Intrusion noch für seine „Kristallisationsschieferung“ in Betracht gezogen wünscht. Daß für solche durchgreifende Prozesse Gebirgsfeuchtigkeit und Rieckesches Prinzip zusammen nicht ausreichen, ist eben zu klar zutage liegend.

Betrachten wir nun nochmals die einzelnen Gruppen der „kristallinen Schiefer“, zunächst die zweite Gruppe, die ich als alpine Fazies bezeichnet habe, in zusammenfassender Weise, weil die hauptsächlichsten der hier kritisch behandelten Studien sich auf diese Gruppe beziehen, so kann man diese nach obigen Ausführungen wieder in zwei Unterabteilungen zerlegen, von welchen die eine, meist von granitischer bis tonalitischer Zusammensetzung, in schmelzflüssigem Zustand in die andere eingedrungen ist, welche ein beliebiges System sedimentärer und eruptiver Gesteine von beliebigem geologischen Alter darstellt. Soweit glaube ich völlig in Übereinstimmung mit Becke, Grubenmann etc. zu sein, denn wenn bei der Kristallisationsschieferung das juvenile Wasser des Granites mit in Rechnung gezogen wird, so ist dies doch nur unter der Voraussetzung möglich, daß dem Granit die Eigenschaft eines Intrusivgesteins zukommt.

Die granitischen Kernmassive der Alpen unterscheiden sich nun von den Graniten anderer Gebiete durch eine ganze Reihe von Erscheinungen, welche im einzelnen aufgezählt werden sollen: 1. sie sind gewöhnlich durch und durch kataklastisch, 2. sie haben schiefrige Randzonen und schiefrige

Apophysen, 3. sie führen massenhaft Mineralien, welche sonstigen Graniten fremd sind und die teils durch hohes spezifisches Gewicht wie der Granat teils durch Hydroxylgehalt wie der Chlorit oder durch beide Erscheinungen zusammen ausgezeichnet sind, wie der Klinozoisit. All diese abweichenden Eigenschaften faßt der Dynamometamorphismus als sekundär in dem ursprünglich in normalem Zustand verfestigten Gesteine entstanden auf, indem die strukturellen und mineralischen Veränderungen dem Rieckeschen Prinzip und dem Volumgesetz zugeschrieben werden und für den Druck als solchen oder für die unter dem erhöhten Druck eintretende Temperatursteigerung die Eigenschaft in Anspruch genommen wird, eine allgemeine molekulare Beweglichkeit des Gesteins hervorzubringen. Alle Versuche einer Beweisführung, welche diese physikalischen Prozesse beweisen sollen, sind als mißlungen zu bezeichnen. Und wenn Becke, um die Trümmer seiner Theorie noch zu retten, das Stadium der dynamometamorphen Umkristallisation direkt anschließend an die magmatische Erstarrungsperiode eingetreten denkt, so ist doch wohl die Frage erlaubt, weshalb gerade ganz zufällig diese beiden einander völlig fremden Prozesse überall in solch enge Beziehungen zueinander treten, während sie doch eigentlich in ihren physikalischen Grundlagen gar nichts miteinander gemeinsam haben.

Becke kann aber für den ganzen komplizierten Apparat des Doppelprozesses, den er freiwillig annimmt, in Bezug auf die Zeitdauer keine besonderen Ansprüche machen, denn in zahlreichen Gebieten der Alpen ist der zwingende Beweis zu führen, daß die ersten Äußerungen der postvulkanischen Prozesse, welche sich direkt an die Phase der magmatischen Erstarrung anschlossen, die Zentralgranite schon in demselben anomalen Zustand vorfanden, welchen sie heute noch haben. Die Aplite, welche mit dem Granit auf das vollkommenste verschweißt, das Zentralmassiv des Groß-Venedigers durchziehen, zeigen fast nie eine Spur jener intensiven Katakklase, welche für den Zentralgranit charakteristisch sind. Sie waren also noch nicht verfestigt, als der Zentralgranit seine kataklastische Beschaffenheit annahm, d. h. die Prozesse der Gebirgsbewegung, welche diese hervorgebracht haben, müssen vor der Verfestigung der Aplite größtenteils abgeschlossen gewesen sein.

Aber der Zentralgranit war auch schon völlig schiefrig, als die Aplite emporgedrungen sind, das beweist unwiderleglich das von mir früher beschriebene Gerölle aus der Isar, das beweist ebenso sicher der parallele Verlauf der Aplitgänge in den Randzonen der Massive des Groß-Venedigers oder des St. Gotthards, welche fast ausschließlich in der Strukturebene des Massengesteins eingeschaltet sind. Es ist somit die Wahrscheinlichkeit sehr hoch,

daß es sich hier nicht um zwei selbständige, aber zufällig überall zeitlich eng aneinander gebundene Prozesse handelt, sondern um den einzigen der magmatischen Erstarrung unter hohem Druck, was ich als Piëzokristallisation bezeichnet habe. Die so allgemein ohne jede Kritik angenommene Theorie des Dynamometamorphismus steht bei der Erklärung des Zentralgranites zweifellos auf einer viel schwächeren Basis als die Annahme einer Piëzokristallisation, welche eben aus den tatsächlichen Verhältnissen abgeleitet wird.

Betrachten wir die zweite Unterabteilung der alpinen Fazies der kristallinen Schiefer, so sind es im eigentlichen Sinne des Wortes metamorphe Gesteine, welche verhältnismäßig selten in einzelnen Fossilresten, in größeren klastischen Elementen oder auch in einer Andeutung porphyrischer oder ophitischer Strukturen einen Hinweis auf ihre ursprüngliche Beschaffenheit erkennen lassen. An Stelle der ursprünglichen klastischen oder eruptiven Struktur sind aber in der Hauptsache ganz neue Strukturformen getreten, deren charakteristische Erscheinung auf eine verhältnismäßig geringe molekulare Beweglichkeit während der Kristallisation der Gesteine hinweist, sowie durch den im allgemeinen vorhandenen Mangel einer bestimmten Ausscheidungsreihenfolge der einzelnen Mineralien ein hervortretendes Kennzeichen gegenüber den Eruptivgesteinen besitzt.

Aber diese Strukturformen sind, so scharf ihre Abgrenzung auch gegenüber von jenen der Eruptivgesteine erscheinen mag, keineswegs besondere, auf die „kristallinen Schiefer“ als solche beschränkte Erscheinungen, und von ganz einwandfreier, auf entgegengesetztem Standpunkt stehender Seite, so von Rosenbusch selbst wurde schon lange auf die große Analogie hingewiesen, welche zwischen der Struktur dieser Abteilung der kristallinen Schiefer und jener normaler Kontaktgesteine besteht. Die Eigentümlichkeiten in der Struktur dieser metamorphischen Schiefer sind in ausgesprochener Weise und häufig in besonders typischer Ausbildung jene der Hornfelse, so zwar, daß in Bezug auf die Struktur überhaupt kein Unterschied zwischen beiden Gruppen gefunden werden kann. Die Struktur eines Gesteins gibt aber zweifellos ein deutliches Bild von den chemisch-physikalischen Verhältnissen während der Herausformung desselben, und man ist daher berechtigt zu der Annahme, daß diese metamorphen Schiefer und die Kontaktgesteine unter einander sehr ähnlichen chemisch-physikalischen Bedingungen umkristallisiert sind. Man darf daher aber auch nicht die Strukturformen der kristallinen Schiefer durch besondere Namen von jenen der Kontaktgesteine trennen, weil dadurch das Gefühl für ihre absolute Identität verloren geht und zumal der weniger Eingeweihte ein subjektiv gefärbtes Bild der Verhältnisse bekommt.

Die Prozesse der Umkristallisation durch Kontaktmetamorphose sind uns wenigstens in den Hauptzügen bekannt. Die Erscheinung, daß an Stelle der wasserhaltigen Tonmineralien eines Tonschiefers bei der Kontaktmetamorphose Andalusit und Kordierit treten, daß kohlige Substanz zu Graphit wird, daß in einem unreinen Kalkstein durch gegenseitige Reaktion von Kalkspat und den tonigen Verunreinigungen sich Kalktonsilikate bilden, beweist die Wirksamkeit der erhöhten Temperatur. Daß diese aber nicht etwa eine Schmelzung der ganzen Gesteinskomplexe mit sich brachte, dafür haben wir den Beweis in den so massenhaften Einschlüssen in den Kontaktmineralien, der sogenannten Siebstruktur, ferner in der helizitischen Struktur, welche die ursprüngliche Schieferung des Gesteins auch in dem völlig kristallinen Gebilde noch deutlich erkennen läßt, und endlich in der Erhaltung der einzelnen, verschieden zusammengesetzten Schichten eines umgewandelten Komplexes, welche im allgemeinen nicht oder nur wenig gegenseitig in chemische Reaktion getreten sind. Daß aber andererseits trotzdem die Umbildung durch Kontaktmetamorphose nicht in festem Aggregatzustand vor sich ging, wird bei der Betrachtung der Knotenschiefer klar, deren einzelne Knoten z. B. von Andalusit Konzentrationsprodukte des Tonerdesilikates aus einem weiteren Umkreis darstellen; noch deutlicher tritt diese einstige molekulare Beweglichkeit in die Erscheinung bei der Betrachtung der großen Vesuvian- oder Granatkristalle körniger Kalke, welche nicht etwa aus ursprünglichen lokalen Anhäufungen von Verunreinigungen erklärt werden können. Dazu kommt noch die allgemeine Imprägnation der Gesteine mit Turmalin und ähnlichen Mineralien, deren Bestand nur aus den dampf- oder gasförmigen Exhalationen bei der Kristallisation des Massengesteins erklärt werden kann. Bei der Kontaktmetamorphose sind somit die Grundzüge der chemisch-physikalischen Bedingungen bei der Umkristallisation völlig deutlich zu überblicken und ein durch die allgemeine Durchtränkung mit den mineralbildenden Agentien bewirkter, durch die erhöhte Temperatur unterstützter, viskoser Aggregatzustand ist das Wahrscheinlichste, was wir für die Prozesse der Kontaktmetamorphose feststellen können.

Betrachten wir die alpine Fazies der metamorphischen Schiefer in Bezug auf die größere oder geringere Wahrscheinlichkeit der einzelnen Faktoren, so finden wir, daß hier ebenfalls im Stadium der Umwandlung eine beschränkte molekulare Beweglichkeit vorhanden war wie im ersten Fall, die so verbreiteten größeren Einsprenglinge von Granat, Staurolith, Zoisit etc. können auch hier nur als Kristallisationszentren angesehen werden, welche beweisen, daß die Umbildung nicht im starren Aggregatzustand vor sich ging.

Wir beobachten ferner, daß auch hier die Kohle zu Graphit umgewandelt wurde, aber im allgemeinen treten nicht die wasserfreien Tonerdesilikate, nicht die gegenseitigen Reaktionen des Kalkspats mit seinen Verunreinigungen hervor. Die Verhältnisse zeigen einen gewissen charakteristischen Unterschied.

Auch die Ausdehnung der umgewandelten Zonen scheint bei den alpinen kristallinen Schiefern um ein Vielfaches bedeutender zu sein als bei der normalen Kontaktmetamorphose, so daß man nicht ohne weiteres beide Erscheinungen als äquivalent ansehen kann.

Betrachten wir die geologischen Verhältnisse dieser Gesteinsgruppen, so sieht man sie im allgemeinen in breiten Zonen beiderseits die granitische Zentralkette begleiten, in um so höher kristallinischer Ausbildung, je mehr man sich dem massigen Kern nähert, um so mehr den normalen Habitus des ursprünglichen Gesteins annehmend, je mehr man sich von diesem entfernt. Man findet auch hier allenthalben die Durchsetzung der Gesteine mit winzigen Turmalinnädelchen, und daß selbst noch in großer Entfernung von dem Zentralgranit einstmals sehr bedeutende Temperaturen vorhanden gewesen waren, dafür liefert die holokristalline Entwicklung der so weit verbreiteten Aplite einen hervorragenden Beweis.

Und wenn man auch hin und wieder selbst recht hochkristallinisch entwickelte Serien dieser Gesteine beobachtet, welche scheinbar von den granitischen Kernen völlig unabhängig sind, so ist doch wohl allenthalben in derartigen Komplexen, in einzelnen Adern wenigstens, Granit oder Aplit zur Ausbildung gekommen, welche sich als Abzweigungen eines nicht aufgeschlossenen Massivs in der Tiefe zu erkennen geben.

Die Zusammenfassung der geologischen Beobachtungen in der zentralalpinen Schieferhülle beweist jedenfalls mit großer Sicherheit, daß überall, wo die kristallinische Entwicklung der Schiefer zu beobachten ist, diese von gewaltigen Intrusivmassen von granitischer oder tonalitischer Zusammensetzung durchbrochen worden sind, deren Abzweigungen man überall und noch in sehr weiter Entfernung vom intrusiven Kern in den Schiefern findet. Derartige massige Intrusionen müssen aber nach allen unseren Erfahrungen Tonschiefer oder Kalksteine oder Diabase verändern und zu Kontaktgesteinen umwandeln. Wir vermissen nun aber die normale Form der Kontaktgesteine in den Zentralalpen völlig, hier sind Andalusit- oder Kordierithornfelse, granat- oder vesuvianführende Kalziphyre in der normalen Reihe der Gesteine unbekannte Erscheinungen und die Dynamometamorphiker suchen nun diesen Unterschied durch zwei verschiedene Hypothesen zu erklären. Die vom Zentralgranit durchbrochenen Schiefer waren entweder schon dynamometamorph zu dem

kristallinen Gebilde geworden, als welches sie sich heute darstellen und konnten in diesem kristallinen Zustand die Periode der Kontaktmetamorphose über sich ergehen lassen, ohne eine Änderung zu erleiden oder sie wurden zuerst durch die Kontaktmetamorphose in normaler Weise umgebildet und erlitten später unter der Wirkung der Gebirgsfaltung eine dynamometamorphe Umwandlung, welche ihre zuerst kontaktmetamorphe Beschaffenheit völlig zerstörte.

Betrachten wir diese beiden Möglichkeiten, für welche übrigens keine irgendwie geartete Beobachtung spricht, wenn man nicht das lokale Auftreten kristallinischer Schiefer in solchen Gebieten hier in Rechnung ziehen will, in denen zufällig der zentralgranitische Kern nicht aufgeschlossen ist. Wenn die Schiefer schon dynamometamorph waren, bevor der Zentralgranit kam, so müssen mindestens zwei Perioden dynamometamorpher Umwandlung in den Alpen vorhanden gewesen sein, die erste, welche die Schiefer, die zweite, welche die erst später eingedrungenen Granite veränderte. Dabei haben z. B. vom Groß-Venediger die schon früher kristallinisch entwickelten Schiefer keine ausgedehnteren mechanischen Störungen erlitten, der in den späteren Perioden veränderte Granit aber ist ganz kataklastisch geworden. Schon das allein halte ich für einen absoluten Beweis für die Unhaltbarkeit dieser Theorie; es gibt aber noch einen zweiten, ebenso vollwichtigen. Die Annahme, daß die zentralalpinen, kristallinen Schiefer durch normale Kontaktmetamorphose nicht wieder verändert werden, ist nämlich falsch. Die Granatfelse etc., welche lokal am Kontakt mit Peridotit und Serpentin aus den Kalkglimmerschiefern hervorgingen, zeigen es mit großer Klarheit; das ist normale Kontaktmetamorphose, welche die Beschaffenheit der „kristallinen Schiefer“ wieder deutlich verändert hat. Also waren die Schiefer nicht in ihrem heutigen „kristallinen Schiefer“-Stadium, als der Granit kam, und dieses Stadium hätte auch keinen Schutz gegen die Wirkung normaler Kontaktmetamorphose geboten.

Die zweite Möglichkeit, welche die Dynamometamorphiker zugeben würden, ist die, daß auf eine vorhergehende Kontaktmetamorphose eine spätere Dynamometamorphose folgte, welche den durch ersteren Prozeß erreichten kristallinen Gleichgewichtszustand wieder völlig vernichtete. Zur Widerlegung dieser Hypothese, deren Unwahrscheinlichkeit an sich schon in die Augen fallend ist, genügt wohl die Bemerkung, daß nach dem Emporbringen der Aplite die Gebirgsbewegung zum Stillstand gekommen war und daß somit für die Beurteilung dieses Doppelprozesses dieselben Erwägungen gelten, welche bei der Besprechung des Zentralgranites angeführt wurden.

Die „alpine Fazies“ der metamorphen Schiefer zeigt also in Bezug auf ihre Struktur volle Übereinstimmung mit den normalen Kontaktgesteinen, die Abnahme ihrer kristallinen Struktur mit der Entfernung von dem Intrusivgestein ist dieselbe wie bei diesen, die allgemeine bis in die äußersten Zonen gehende Imprägnation mit Turmalin ist in beiden Fällen gleich, stark erhöhte Temperatur selbst in ziemlich weit vom Granit entfernten Zonen wird durch das Auftreten holokristalliner Adern von Granit und Aplit zur Sicherheit, d. h. alle, bei der Betrachtung der chemisch-physikalischen Verhältnisse der Kontaktmetamorphose in Frage kommenden Faktoren waren auch bei der Umkristallisation dieser Gesteine vorhanden und die abweichende mineralische Zusammensetzung kann nur durch eine Modifikation des normalen Prozesses der Kontaktmetamorphose erklärt werden. Nun ist es außerordentlich bezeichnend, daß die Ausbildung der Kontaktzonen, wie sie die alpine Fazies der metamorphen Schiefer darstellt, in welchen im allgemeinen die Wirkung des Volumgesetzes neben dem besonderen Hervortreten einer Schieferstruktur einen charakteristischen Unterschied gegenüber den normalen Kontaktgesteinen hervorbringt, sich nur in der Umgebung von Intrusivmassen findet, deren schiefrige Randzonen und kataklastische Beschaffenheit die Wirkung der Piëzokristallisation deutlich hervortreten lassen. Wo eine Intrusivmasse während der gebirgsfaltenden Prozesse der Verfestigung unter besonders hohem Druck anheimfiel, da war natürlich auch die kontaktmetamorphe Umwandlung des Nebengesteins durch diese Spannung beeinflusst, die Piëzokristallisation erfordert eine Piëzokontaktmetamorphose. Die physikalischen Grundgesetze, unter denen diese Umwandlung vor sich ging, waren wohl diejenigen, welche der Dynamometamorphismus annimmt, das Volumgesetz und das Rieckesche Prinzip, welche zusammen das erhöhte spezifische Gewicht und die Schieferigkeit der in Betracht kommenden Bildungen bedingte. Der fundamentale Unterschied aber, welcher zwischen den hier vorgetragenen Anschauungen und jenen des Dynamometamorphismus vorhanden ist, liegt darin, daß die Beweglichkeit der Moleküle, welche unter allen Umständen vorhanden gewesen sein muß, als die Umkristallisation vor sich ging, nach meiner Ansicht auf Agentien zurückgeführt werden muß, die recht wohl definierbar sind, auf die erhöhte Temperatur und die juvenilen Agentien der gewaltigen, zentralgranitischen Massive. An Stelle der in den Poren der Gesteine als gesättigte Lösung zirkulierenden Gebirgsfeuchtigkeit, an Stelle der durch Versenkung in große Rindentiefe hervorgebrachten Temperatursteigerung, beides Dinge, für die uns jeder Beweis mangelt, treten in ihrer gesamten Wirkungsweise vollkommen typisch die Agentien der Kontakt-

metamorphose, deren Wirkung in den durch gewaltige Dislokationen erschütterten Gesteinen der Zentralzone der Alpen und bei der großartigen Ausdehnung der granitischen Kerne hier intensiv wie extensiv in besonders eindrucksvoller Weise in die Erscheinung tritt.

Wenn wir schließlich auch die Beobachtungen über die normale Fazies der kristallinen Schiefer Revue passieren lassen, so müssen wir zunächst eine Erscheinungsform derselben genauer charakterisieren, welche zwar auch in dem Gebiet der alpinen Vorkommnisse eine nicht untergeordnete Bedeutung besitzt, in ihrer Individualität aber dort weniger äußerlich hervortritt: das sind die Vermischungen zwischen eruptivem und sedimentärem Material. Daß Intrusivmassen Schollen des Nebengesteins losreißen und dieselben sich mehr oder minder assimilieren, ist eine Erscheinung, welche niemand zweifelhaft sein kann. Das gehobene und in Schollen zertrümmerte Dach einer intrusiven Masse wird von diesen Prozessen besonders in Anspruch genommen und zumal, wenn dasselbe aus schiefrigen, durch die Gewalt der Intrusion in ihrem ganzen Gefüge erschütterten Gesteinen bestand, treten die Erscheinungen der Vermischung des zertrümmerten Nebengesteins mit dem Eruptivgestein besonders deutlich in die Erscheinung.

Der Schmelzfluß und zwar in erster Linie seine leichtest beweglichen Teile von der Zusammensetzung der Aplite drängte sich in jede Fuge des durchbrochenen Gesteins hinein, das nun zum Teil kontaktmetamorph umgebildet, zum Teil auch mehr oder minder vollständig resorbiert wird und die Verfestigung solcher durch die Gewalt der Intrusion stark gestauchter und gefalteter und später mit aplitischem Material wieder verheilte Schiefer liefert das von vielen Geologen nicht anerkannte Gebilde der sogenannten injizierten Schiefer, den Hauptteil der Gneisformation der normalen Fazies der kristallinen Schiefer. Nur verhältnismäßig selten erscheint die Assimilierung des Nebengesteins durch die Intrusivmasse so vollständig, daß letztere in ihrer ganzen Zusammensetzung modifiziert ist, der Unterschied der beiden Komponenten aber nicht mehr hervortritt, ich nenne solche Gesteine Resorptionsgneise. Weitaus häufiger ist der Fall, daß trotz einer partiellen Auflösung des Nebengesteins dessen Individualität soweit gewahrt erscheint, daß man makroskopisch sowohl als mikroskopisch die beiden Komponenten des Gesteins auseinanderhalten kann. Makroskopisch erscheinen die lichten Adern des aplitischen Gesteins als unregelmäßiges, aber zusammenhängendes Netzwerk, in welchem die dunkeln Partien des umgewandelten Schiefers bald in kleinen Fetzen bald in ausgedehnten Schollen schwimmen, und der Aplit dringt auf Adern und Fugen ein in die aufgeblätterten Massen der einstigen Tonschiefer.

Mikroskopisch ist der Unterschied noch schärfer charakterisiert: die lichten Adern sind normaler Aplit, manchmal mit einigen aus der Auflösung des Nebengesteins stammenden Nebengemengteilen, die dunklen Schollen sind normales Kontaktgestein, manchmal mit etwas durch die Mineralbildner hereingetragenem Orthoklas. Die erstere Komponente hat meist sehr ausgesprochene aplitische oder mikropegmatitische Struktur, die letztere ist auch strukturell ein echter Hornfels.

Daß in den Randzonen eines derartig entwickelten granitischen Massivs von dem normalen, nicht veränderten Granit angefangen durch die Aufnahme einzelner Schollen zunächst ein etwas „gneis“artiges Ansehen hervorgebracht wird, dann ein von Schollen durchsetzter aplitischer Granit folgt, worauf die Schollen an Menge und Ausdehnung mehr und mehr zunehmen und der Aplit nur noch in vereinzelt schmalen Adern sich findet, ist in dem Werdeprozeß der ganzen Bildung begründet. Mit der weiteren Entfernung von der Intrusion, örtlich oder zeitlich, aber werden die Abzweigungen immer saurer, der Feldspat der Apophysen tritt zurück und die Durchaderung wird schließlich reiner Quarz. Auch diese Quarzdurchaderung der „Glimmerschiefer“- und der „Phyllit“-Formation ist durchaus als juvenil zu deuten, als Äquivalent der aplitischen Durchaderung der „Gneis“-Formation, d. h. der Gruppe der injizierten Schiefer.

Diese Erscheinung ist als Weltgruppe zu bezeichnen, ihre Form aber ist ausschließlich abhängig von der petrographischen Beschaffenheit des ursprünglichen Tonschiefers und somit ist irgend eine Beziehung des geologischen Alters zu dieser Gesteinsbeschaffenheit von vornherein von der Hand zu weisen. Es gehören hierher die mittleren und oberen „Niveaus“ der „Gneisformation“ der verschiedenen Länder, auf deren verschiedene Nomenklatur schon in der Einleitung hingewiesen wurde; in besonders charakteristischer Weise zeigen diese Ausbildung die „herzynische Gneisformation“ des Bayerischen und des Oberpfälzer Waldes, in welchen Kordierit-, Sillimanit- und Andalusithornfelse der normalsten Ausbildung von granitisch-aplitischem Material injiziert sind. Die so charakterisierte Gruppe stellt aber gleichzeitig die untere Tiefenstufe von Becke und Grubenmann dar, in welcher „infolge der Versenkung in große Rindentiefe das Volumgesetz nicht mehr zum Ausdruck kommt.“ Oder nach der hier festgehaltenen Auffassung: es ist normale Kontaktmetamorphose im Gegensatz zur Piëzokontaktmetamorphose, welche oben charakterisiert wurde. Denn die Hornfelsbestandteile dieser „Gneise“ sind in Bezug auf Struktur und mineralische Zusammensetzung absolut echte, normale Kontaktgesteine und die Gesteine gehen mit der Entfernung vom Intrusivkern und dem Nachlassen der Intrusion in normalste Knotenschiefer und andere

zweifellose Kontaktgesteine über, so daß ein Zweifel an ihrem petrographischen Charakter noch viel weniger möglich ist als bei der alpinen Fazies.

Die Gesamtreihe der „kristallinen Schiefer“ zerlegt sich somit in zwei Gruppen: die alpine und die normale Fazies, welche in ihrer typischen Ausbildung voneinander getrennt, die erste in der Umgebung granitischer Massen mit schiefriger Randzone und etwas anomaler mineralischer Zusammensetzung, die andere an normalen Graniten auftritt. Bei beiden Gruppen können wir eine Reihe ursprünglicher Bildungen von schiefrig-kristallinischer Beschaffenheit abtrennen, das sind vorherrschend die intrusiven Granite selbst, in denen entweder durch Piëzokristallisation oder durch Fluidalstruktur eine Schieferung entstanden ist. Bei beiden Gruppen läßt sich ferner eine zweite Reihe nicht ursprünglich kristallinisch-schiefriger Bildungen unterscheiden, welche daher als metamorphische Schiefer zu bezeichnen sind. Sie sind in der normalen Fazies absolut identisch mit normalen Kontaktgesteinen und auch in Bezug auf Mächtigkeit der Entwicklung etc. ist hier kein Unterschied. In den alpinen Vorkommnissen ist, abgesehen von gewissen mineralischen Modifikationen, die oft recht bedeutende Mächtigkeit der Schieferhülle auffallend, die genaue petrographische Untersuchung läßt aber auch hier keine Erklärung als jene durch Kontaktmetamorphose zu. Zwischen den beiden mineralogisch und strukturell scharf getrennten Gegensätzen der ursprünglich kristallinen und der metamorphischen Schiefer tritt dann in beiden Gruppen die Reihe der injizierten Schiefer ein, welche öfter einen bemerkenswerten Übergang darstellen.

Dabei gilt das Gesetz, daß piëzokristallinische Granitmassen eine Kontaktzone in der alpinen Fazies der metamorphen Schiefer aufweisen, normale Granite dagegen von einer normalen Fazies umhüllt werden. Zweifellos ist ferner, daß die molekulare Umlagerung der metamorphen Gesteine nicht in fester Gesteinsmasse, sondern in einem erweichten Zustand vor sich ging, welche eine Beweglichkeit der Moleküle auf größere Entfernungen ermöglichte, und die Zusammenfassung aller Beobachtungen zeigt, schon in dem konstanten, gesetzmäßigen Zusammenhang der verschiedenen metamorphischen Schieferreihen mit granitischen Intrusivmassen wie in Struktur, Ausbildung und Mineralbestand derselben, daß es sich nur um die Wirkungen der Kontaktmetamorphose bei diesen Bildungen handeln kann. Historisch-geologische Beziehungen zwischen den verschiedenen Typen sind ebensowenig zu erkennen, als man die verschiedenen Abarten des Dynamometamorphismus auf dieselben anwenden kann.