

III.

Die heutigen Ansichten über Wesen und Entstehung der kristallinen Schiefer.

Von

L. Milch in Greifswald.

Geologie und Petrographie weisen infolge ihrer Forschungsgebiete und ihrer Entwicklung als Wissenschaften zahlreiche Berührungspunkte auf; am nächsten stehen sie sich bei der Behandlung der kristallinen Schiefer, die ein gemeinsames Arbeitsfeld beider Wissenschaften darstellen, in dem sich scharfe Grenzen gar nicht ziehen lassen. Für beide Wissenschaften ist die Frage nach dem Wesen und der Entstehung der kristallinen Schiefer wie nach ihrer Stellung in der festen Erdrinde gleichmässig in hohem Grade strittig; nur in wenigen ihrer Zweige standen und stehen sich teilweise noch in der Gegenwart verschiedene Anschauungen so schroff gegenüber, wie in diesem eifrig und teilweise nicht ohne persönliche Heftigkeit bearbeiteten Gebiet.

Die Berichte über die Fortschritte der Erforschung der kristallinen Schiefer und der mit dieser Frage eng verbundenen nach der Gesteinsumwandlung (Metamorphose) sollen sich in dieser Zeitschrift von jeder Stellungnahme fern halten, jedoch die Ansichten der Verfasser möglichst scharf und klar zur Geltung bringen. Um auch dem Fernerstehenden die Möglichkeit zu geben, diese überaus wichtige Frage in ihrer Entwicklung verfolgen zu können, sollen die nachfolgenden Zeilen gewissermassen als Einleitung zu den regelmässigen Berichten die verschiedenen jetzt vertretenen Auffassungen über Wesen und Entstehung der kristallinen Schiefer im Zusammenhang darstellen.

Die erste, allerdings leicht zu beseitigende Schwierigkeit in der Auffassung der kristallinen Schiefer ist durch die geschichtliche Entwicklung entstanden. Die Anschauung, dass in unseren Gneisen und Glimmerschiefern sowie ihren Einlagerungen die ursprüngliche Erstarrungskruste oder Absätze aus einem Urmeere vorliegen, ist längst überwunden, aber in der Geologie ist doch mit dem Begriff: „kristalliner Schiefer“ vielfach noch die Vorstellung eines überaus hohen Alters teilweise unbewusst verbunden geblieben. Die Geologie kennt natürlich junge kristalline Schiefer, aber gerade durch Hervorheben des Begriffes „jung“ in Verbindung mit dem Begriff „kristalliner Schiefer“ wird immer von neuem das Gefühl hervorgerufen, dass zu dem Wesen dieser Gebilde in der Regel überaus hohes Alter gehört und nur ausnahmsweise jüngere Gesteine von gleicher oder ähnlicher Beschaffenheit auftreten. Hier hilft nur eins: die wissenschaftliche Erkenntnis, dass die Namen Gneis, Glimmerschiefer, kristalline Schiefer usw. eine Gesteinsbeschaffenheit unabhängig vom geologischen Alter der Gesteine bezeichnen, muss in der Namengebung der historischen Geologie ihren Ausdruck finden und die noch vielfach als gleichbedeutend mit Archaikum benützten Bezeichnungen: Formation der kristallinen Schiefer oder Gneisformation müssen verschwinden. An sich wären diese Namen ebenso, vielleicht noch mehr berechtigt wie der Ausdruck: Steinkohlenformation oder Buntsandstein als Formationsglied, aber während hier durch die Entwicklung der Wissenschaft unrichtige Vorstellungen ausgeschlossen waren oder wenigstens für die Gegenwart, auf die es allein ankommt, ausgeschlossen sind, nährt die Bezeichnung Gneisformation noch heute das in weiten Kreisen fortlebende Gefühl von der Notwendigkeit hohen Alters für Gesteine vom Habitus der kristallinen Schiefer. Die Geologie hat aus eigener Kraft schon lange den alten Glauben überwunden, dass für bestimmte Zeiträume der Erdgeschichte bestimmte Gesteine für den ganzen Umfang der Erde charakteristisch seien; an ihr ist es jetzt, durch Ausmerzungen von Namen, die durch fortschreitende Erfahrung ihre Berechtigung verloren haben, den letzten für die Auffassung weiterer Kreise irreführenden und daher nicht ungefährlichen Rest einer gänzlich veralteten Anschauung zu beseitigen, der nur noch auf dem hier besprochenen Gebiet ein Scheindasein fristet.

Weit grössere Schwierigkeiten stehen einer klaren Antwort auf die Frage gegenüber: was sind die kristallinen Schiefer? Die Schwierigkeit wird auch nicht beseitigt, wenn man, um den um-

strittensten Teil, die Entstehung dieser Gebilde, auszuscheiden, die Frage auf die scheinbar überaus einfache Form bringt: Welche Gesteine fasst die Wissenschaft heute als kristalline Schiefer zusammen? Vielleicht könnte man absichtlich nicht scharf begrenzen und als kristalline Schiefer von der Beschaffenheit normaler Eruptiv- und Sedimentgesteine abweichende Gesteine bezeichnen, soweit sich diese Abweichungen nicht auf örtlich wirkende Ursachen (gewöhnliche Kontaktmetamorphose, Fumarolentätigkeit, Wirkung heisser Quellen, Verwerfungen usw.) zurückführen lassen. Die meisten der unter diesen Sammelbegriff vereinigten Gesteine weisen in ihrem Aussehen eigentümliche Züge auf, denen die Gruppe ihren Namen verdankt: sie sind „kristallin“ im Sinne der älteren Gesteinsforschung, d. h. sie bauen sich auf aus meist authigenen Gemengteilen von ausreichender Korngrösse, um die einzelnen Gebilde mit dem Auge oder der Lupe als solche zu erkennen oder, wenigstens zu empfinden¹⁾, und sie sind „Schiefer“, d. h. eine mehr oder minder deutlich entwickelte Parallelanordnung der Gemengteile bewirkt eine in ihrer Vollkommenheit in weiten Grenzen wechselnde Teilbarkeit der Gesteine nach bestimmten Ebenen — doch gehören zu den kristallinen Schiefen auch kryptokristalline (dichte) und richtungslos angeordnete, keine Andeutung von Schieferung besitzende Gebilde. Von den Trümmergesteinen (mechanischen Sedimenten) unterscheiden sich die kristallinen Schiefer durch ihren Aufbau aus authigenen resp. authimorphen Gemengteilen, von den Absätzen aus Lösungen (chemischen Sedimenten) durch ihre Zusammensetzung aus chemisch durchgreifend verschiedenen und dabei gleichaltrigen Gemengteilen sowie besonders durch die Natur dieser Gemengteile, von den aus Schmelzfluss gebildeten Eruptivgesteinen durch abweichende Strukturen, besonders durch das Fehlen einer Altersreihenfolge der verschiedenen Gemengteile. Schliesslich finden sich gewisse Gemengteile nur in den kristallinen Schiefen, ebenso

¹⁾ Die Bezeichnung „kristallin“ an Stelle von „phanerokristallin“ rührt aus der Zeit vor Einführung der mikroskopischen Gesteinsuntersuchung her, in der man in dichten Gesteinen (wie im Tonschiefer) Vorherrschen von unkristallisierten Substanzen annahm und in dem Aufbau aus kristallisierten Substanzen einen grundsätzlichen Unterschied der „kristallinen Schiefer“ gegenüber den anderen Schiefen erblickte, die tatsächlich auch aus kristallisierten, aber sehr kleinen Gemengteilen bestehen, mithin „kryptokristallin“ sind. Einen Begriff kann man mit dem Ausdruck „kristallin“ für Gesteine verbinden, wenn man das Wort im Sinne von „aufgebaut aus Gemengteilen, die an Ort und Stelle auskristallisiert sind oder wenigstens dort ihre gegenwärtige Gestalt erhalten haben“ d. h. „aus authimorphen Komponenten bestehend“, anwendet.

wie auch bestimmte Mineralgruppierungen ihnen eigentümlich sind, aber natürlich keineswegs in allen zur Klasse der kristallinen Schiefer vereinigten Gesteinen auftreten. Die Beschaffenheit der kristallinen Schiefer, ihren Habitus erfasst man am leichtesten, wenn man sich einerseits Gneis und Glimmerschiefer, andererseits Granit und Lehm oder Schieferton vorstellt; von der Schwierigkeit der Abgrenzung erhält man einen Begriff, wenn man an streifigen Granit oder Gabbro, an Protogin und an die Reihe Ton — Schieferton — Tonschiefer — Phyllit — Glimmerschiefer denkt.

Schon aus dieser möglichst allgemein gehaltenen Beschreibung, bei der die Frage nach der Entstehung völlig ausgeschaltet wurde, ist die Grundursache für die Möglichkeit weit voneinander abweichender Anschauungen zu erkennen: um überhaupt eine Grenze zu ziehen, muss man die kristallinen Schiefer normalen Eruptiv- und Sedimentgesteinen gegenüberstellen — was aber normal ist, unterscheidet nicht die Natur, sondern die Auffassung, wie sie eine zurzeit anerkannte Richtung lehrt, und wie sie der Einzelne im Sinne der Richtung oder gegen sie erwirbt. Die Frage, ob unter anderen Verhältnissen, wie sie die geologische Gegenwart darbietet, sich nicht vielleicht andere (mechanische oder chemische) Absätze aus dem Wasser bilden konnten, ist an sich ganz gerechtfertigt, ebenso der Gedanke, ob die Verhältnisse, unter denen die erste feste Hülle um die Erde entstand, oder die Verhältnisse, die überhaupt zur Frühzeit der Erde herrschten, nicht von den späteren abweichende Gebilde hervorbringen mussten. Von diesen Erwägungen gingen zwei einander scharf gegenüberstehende Meinungen aus, von denen die eine in den kristallinen Schiefen Absätze aus einem Urmeere, die andere in der Gesamtheit dieser Gesteine die ursprüngliche Erstarrungskruste erkennen wollte. Der Grund dafür, dass diese beiden Auffassungen heute fast keine Vertreter mehr besitzen, liegt weniger in dem Nachweis, dass Gesteine von entsprechender Beschaffenheit auch zwischen Gesteinen, die Reste von Organismen enthalten, auftreten, da eine Wiederkehr ursprünglicher Verhältnisse ohne weiteres nicht kurzerhand in das Gebiet der Unmöglichkeit verwiesen werden kann, sondern in der wissenschaftlichen Erkenntnis, dass die Annahme einer Ausscheidung von Gebilden mit Eigenschaften, wie sie beispielsweise die Glimmerschiefer darbieten, aus einer wässerigen Lösung oder einem Schmelzfluss mit den anderweitig erkannten physikalisch-chemischen Gesetzen über die Bildung fester Körper aus Lösung und Schmelzfluss in Widerspruch steht.

Den in der Gegenwart hauptsächlich vertretenen Anschauungen und Theorien ist gemeinsam die Erkenntnis, dass am Aufbau der kristallinen Schiefer Eruptiv- und Sedimentmaterial Anteil haben; strittig ist die Frage, ob ursprünglich „normale“ Eruptiv- und Sedimentgesteine sich ohne Zuführung von neuem Material und ohne Mitwirkung aufsteigender schmelzflüssiger Massen lediglich durch Anpassung an veränderte physikalische Bedingungen unabhängig von ihrer Entstehung zu kristallinen Schiefen umgewandelt haben, oder ob aus tieferen Teilen der Erde empordringende Stoffe, sei es für sich allein, sei es durch Hinzutreten zu älteren Sedimenten, Mischung mit ihnen und hierdurch hervorgerufene Umwandlung dieser, sei es schliesslich lediglich durch Umwandlung der älteren Gesteine die petrographisch verschiedenen „kristallinen Schiefer“ erzeugt haben. Selbstverständlich können auch nach der Auffassung der Forscher, die in den kristallinen Schiefen ursprünglich normale, später ohne direkte oder indirekte Mitwirkung von Eruptivmaterial den veränderten physikalischen Verhältnissen angepasste Gebilde erblicken, mit den kristallinen Schiefen räumlich verbundene Eruptivmassen auftreten, die jünger sind, als die Umwandlung ihres Nebengesteins in kristalline Schiefer — das Verhältnis ist dann das gleiche wie das irgend eines Eruptivstockes zu seinem älteren Nebengestein. Natürlich können derartige Intrusionen auch stattfinden, während die Gesteine sich nach dieser Auffassung in kristalline Schiefer umbilden; nur hat das Eruptivgestein an der Umbildung eines „normalen“ Gesteins in einen „kristallinen Schiefer“ keinen Anteil. Umgekehrt haben die älteren Forscher, die eine Mitwirkung von Eruptivmaterial bei der Umwandlung ausgeschlossen haben, offenbar von der Auffassung der Schieferungsflächen als ursprünglicher Schichtflächen ausgehend, immer nur an umgewandelte Sedimentgesteine gedacht; diese Vorstellung ist zum Schaden der Lehre noch lange, nachdem sie von den „Metamorphikern“ überwunden war, bei Fernerstehenden haften geblieben und wohl erst durch H. ROSENBUSCH's klassische Abhandlungen „Zur Auffassung des Grundgebirges“ (1889), „Zur Auffassung der chemischen Natur des Grundgebirges“ (1891), sowie die Darstellung seiner Auffassung der kristallinen Schiefer in den „Grundzügen der Gesteinskunde“ und die Einteilung der Gneise in Orthogneise (aus Eruptivgesteinen entstanden) und Paragneise (aus Sedimentgesteinen entstanden) endgültig beseitigt worden. Die nachstehende Übersicht bespricht unter I die Anschauungen, die die Entstehung der kristallinen Schiefer auf Anpassung ohne Mit-

wirkung von Eruptivmaterial zurückführen, unter II die Theorien, bei denen Eruptivmaterial eine wechselnde, aber stets wichtige Rolle spielt.

I. Für die Umwandlung normaler Gesteine in „kristalline Schiefer“ ohne direkte oder indirekte Mitwirkung von Eruptivmaterial werden eine Reihe von Ursachen angenommen, deren Wirksamkeit zu verschiedenen Zeiten und von verschiedenen Forschern ungleich, bisweilen unter Hervorhebung einer einzelnen und Zurückdrängen der übrigen bewertet werden; sie sollen hier ohne Berücksichtigung der geschichtlichen Entwicklung aufgeführt werden:

1. die höhere Temperatur tieferer Teile der Erdrinde, für sich allein zur Erklärung der Umwandlung heute als durchaus ungeeignet allgemein anerkannt, in Verbindung mit anderen Ursachen aber nach der Ansicht vieler, auch des Referenten, überaus wichtig. Die innere Erdwärme ist wohl zuerst von HUTTON 1788 in seiner Abhandlung: *Theory of the Earth* (*Transact. of the Royal Soc. of Edinburgh*, Vol. I, 209 ff.) als Ursache einer Veränderung von Absätzen aus dem Wasser angenommen worden, doch erscheint in der Abhandlung von 1788, wie im Gegensatz zu anderen Angaben (z. B. in DOELTER's *Petrogenesis* p. 175, 1906) hervorgehoben werden soll, für die Gesteinsbildung und -Umbildung die innere Erdwärme und eine durch sie hervorgebrachte teilweise Schmelzung ganz allgemein als Ursache der Verfestigung der losen Absätze aus Wasser — Gesteine von der Beschaffenheit der kristallinen Schiefer werden hier überhaupt nicht erwähnt. Eine Trennung der kristallinen Schiefer von Sedimenten und die Erklärung ihrer Beschaffenheit durch Schmelzung und Auskristallisation (Metamorphose) erfolgte erst später (wohl in HUTTON's zweibändiger *Theory of the Earth* von 1795, dem Ref. nicht zugänglich) und erlangte hauptsächlich durch LYELL weite Verbreitung.

Die sich an diese Auffassung sowie an die Erfahrungen A. DAUBRÉE's über die Wirkung überhitzten Wassers anschliessende, von C. W. GÜMBEL 1868 aufgestellte Lehre von der Diagenese, der Lehre von der Umwandlung normaler mechanischer Sedimente vor ihrer Verfestigung am Grunde des Urmeeres durch überhitztes Wasser, hat wohl seit längerer Zeit keine Anhänger mehr.

2) Von der gleichen Beobachtung ausgehend, der lückenlosen Reihe, die sich petrographisch vom Ton über Schieferton, Tonschiefer oder

Phyllit zu Glimmerschiefer mit Übergängen in Gneis erstreckt, stellte sich der Lehre von der (plutonischen) Metamorphose die Lehre von der Umwandlung normaler Sedimente durch die Wirkung des in die Gesteine eindringenden Wassers, der neptunische oder hydrochemische Metamorphismus entgegen. Von dieser wesentlich durch G. BISCHOF ausgebauten und zur Geltung gebrachten Lehre gilt das gleiche, was oben von dem plutonischen Metamorphismus gesagt wurde: für sich allein durchaus unzureichend, hat sie das Verdienst, in der Wirkung des Wassers bei der Umwandlung eine von vielen Forschern neben anderen Ursachen als höchst wichtig erkannte Ursache der Umbildung normaler Gesteine zu kristallinen Schiefern in der Wissenschaft heimisch gemacht zu haben. Natürlich muss die „innere Erdwärme“ ebenso wie das eindringende Wasser in gleicher Weise auf Eruptivgesteine wie auf Sedimente wirken, was früher wohl nicht ausreichend berücksichtigt worden ist.

3. Die Lehre von der Entstehung der kristallinen Schiefer durch *Dynamometamorphose* wurzelt in der Beobachtung, dass in Gebieten starker Faltung jüngere Gesteine schiefbrig erscheinen und die Beschaffenheit kristalliner Schiefer aufweisen. Nachdem K. A. LOSSEN 1867 von seinen Untersuchungen im Soonwalde ausgehend die Ansicht ausgesprochen hatte, „dass die meisten echten kristallinen Schiefer infolge der allgemeinen dynamischen gebirgsbildenden Prozesse auf nassem Wege umkristallisierte Sedimente seien“ und später die Wirkung dieser Vorgänge auf massige Gesteine kennen gelehrt hatte, zeigte H. ROSENBUSCH, dass sich nach Struktur und stofflicher Beschaffenheit die „Grundgebirgsgesteine“ in ursprünglich sedimentäre und ursprünglich eruptive, durch die gebirgsbildenden Vorgänge zu kristallinen Schiefern umgewandelte Gesteine zerlegen lassen (1889, 1891: Orthogneise aus Eruptivmaterial, Paragneise aus Sedimentmaterial hervorgegangen). Sein Standpunkt ist am kürzesten ausgedrückt durch zwei Abschnitte seiner „Elemente der Gesteinslehre“: „Die kristallinen Schiefer sind unter wesentlicher Mitwirkung geodynamischer Phänomene zur geologischen Umgestaltung gelangte Eruptivgesteine oder Sedimente“ und „als *Dynamometamorphose* bezeichnen wir die Gesamtheit der in einem Gestein unter der Einwirkung gebirgsbildender Vorgänge sich vollziehenden Veränderungen im Mineralbestande und in der Struktur. Das geologisch Unterscheidende der *Dynamometamorphose* gegenüber der *Kontaktmetamorphose* liegt in ihrer Unabhängigkeit von der Grenze eines Eruptivgesteins und

damit in ihrer häufigen Erstreckung über grössere Bezirke (daher Regionalmetamorphose), welche eben von den orogenetischen Vorgängen betroffen wurden. Da die Ursache für gebirgsbildende Prozesse im Druck zu suchen ist, so betrachten wir den Druck als wirkenden Faktor bei der Dynamometamorphose, wobei es dahingestellt bleiben mag, ob er unmittelbar als solcher wirkt, oder mittelbar, etwa durch Temperaturerhöhung. Dass er unmittelbar umwandelnd auf die Struktur der betroffenen Eruptivgesteine wirkt (durch Pressung, Zermalmung, Verschiebung, Streckung, Schieferung) ist zweifellos; — ob er unmittelbar auch chemisch umwandelnd wirke, ist nicht widerspruchslos erwiesen, aber wahrscheinlich. Jedenfalls erleichtert er durch innere Zermalmung den Zugang umwandelnder Agenzien und vergrössert ausserordentlich die Angriffsfläche, von der aus sie wirken können.“

F. BECKE wurde 1892 durch Untersuchungen in den mährisch-schlesischen Sudeten zur Unterscheidung zweier Arten der Dynamometamorphose geführt. „Die eine ist in Mineralbildung und den begleitenden chemischen Vorgängen offenbar nahe verwandt mit der normalen Kontaktmetamorphose granitischer Gesteine; sie erscheint an grössere Erdtiefen geknüpft. Die andere dürfte chemisch mit der Propylitbildung vergleichbar sein und spielt sich näher der Oberfläche ab“. Die der ersten Art der Umwandlung unterworfenen Gesteine folgen den Druckkräften durch Umkristallisieren, bei der zweiten Art tritt Zerquetschung ein; beide sind durch ganz allmähliche Übergänge verbunden.

Von der Erwägung ausgehend, dass die Mineralneubildungen bei der Entstehung der kristallinen Schiefer unmöglich allein oder auch nur in beträchtlichem Grade auf die direkte Einwirkung des Druckes nach Art der Bildung chemischer Verbindungen bei den SPRING'schen Versuchen zurückzuführen seien, somit die Mineralumbildung bei der Dynamometamorphose wesentlich dem durch Druck erhitzten und überhitzten Wasser zugeschrieben werden müsse, kam L. MILCH 1894 zu der Überzeugung, dass Gesteine, die von grossen Massen jüngerer Gesteine überlagert werden, auch bei vollständigem Fehlen geotektonischer Vorgänge in durchaus ähnlicher Weise metamorphosiert und zu kristallinen Schiefen umgewandelt werden müssen, wie Gesteine, die starker Gebirgsbildung ausgesetzt waren. Hiernach lässt sich Dislokations-Metamorphismus und Belastungs-Metamorphismus genetisch und auch in den Produkten der Metamorphose unterscheiden: im ersten Fall tritt die mechanische,

im zweiten Fall mehr die chemische Umformung in den Vordergrund, wenn auch naturgemäss alle Übergänge vorhanden sind. Dass der Druck die Gesteine nicht nur mechanisch deformiert, sondern durch die Mitwirkung der Sickerwässer auch chemisch umgestaltet, hatten L. MILCH 1889, J. J. SEDERHOLM 1891 und R. LEPSIUS 1893 unabhängig voneinander auf Grund von Untersuchungen in ganz verschiedenen Gebieten (Taunus, Finland, Attika) ausgesprochen. Der „Belastungs-Metamorphismus“ kehrt somit, allerdings von ganz anderen theoretischen Vorstellungen ausgehend, bis zu einem gewissen Grade zu dem „normalen Metamorphismus“ E. DE BEAUMONT's und dem „Regionalmetamorphismus“ A. DAUBRÉE's zurück.

Als mineralogisch und strukturell umbildende Kraft gilt somit bei der Dynamometamorphose (im weiteren Sinne) in erster Linie der durch geodynamische Prozesse oder durch Belastung erzeugte Druck, dem sowohl direkte wie indirekte Wirkung zugeschrieben wird.

Der Druck bringt sekundäre Parallelstruktur (Schieferung) hervor durch Zertrümmerung der alten Gesteinsgemengteile, durch parallele Anordnung blätteriger und stengeliger Gemengteile, so dass ihre grösseren Flächen senkrecht zur Druckrichtung stehen, durch Umformung der ursprünglichen Gemengteile; seine mineralumbildende und neubildende Kraft wird, wie oben gezeigt wurde, teils auf direkte Einwirkung nach Art der SPRING'schen Versuche, teils auf das durch ihn erhitzte und überhitzte Wasser zurückgeführt. Hier ist es nach dem Gesagten nur nötig, mit wenig Worten auf die umformende Wirkung des Druckes einzugehen.

Nach A. HEIM bildet sich bei einer die Festigkeit der Gesteine weit übersteigenden Belastung ein Zustand der latenten Plastizität heraus; in grösserer Tiefe der Erdrinde pflanzt sich der Gebirgsdruck nach allen Seiten fort, die Gesteinsteilchen stehen unter einem allseitig auf sie einwirkenden Druck und gestatten somit eine bruchlose Umformung (1878). Für eine bruchlose Umformung kommt die besonders von O. MÜGGE studierte Verschiebbarkeit der Teile eines Kristalls nach Gleitflächen ohne Lösung des Zusammenhangs in Betracht, ferner die Zunahme der Plastizität der Kristalle mit steigendem Druck und mit steigender Temperatur, die, wie L. MILCH beim Steinsalze zeigte, schon bei verhältnismässig geringer Temperatursteigerung weit unterhalb des Schmelzpunktes sich sehr stark geltend machen kann (1909). Zur Erklärung der Struk-

turen kristalliner Schiefer wurde die Plastizität unter hohem Druck wohl zuerst von JOH. LEHMANN (1884) bei seiner Deutung der sächsischen Granulite als alte, durch Druck plastisch gewordene und in diesem Zustand in Sedimente hineingepresste granitische Gesteine angewendet.

Da bruchlose Umformung nur bei sehr starker Belastung stattfinden kann, unterschied schon A. HEIM eine rupturale Umformung in den oberen und eine plastische Umformung in den tieferen Teilen der Erdkruste, wobei das Vorhandensein einer zwischen beiden liegenden Übergangszone angenommen wird; in der Folgezeit erwies sich die Unterscheidung in verschiedene Tiefenzonen auch in chemisch-physikalischer Hinsicht überaus fördernd. Wo immer auf ein Gestein Wasser, erhöhter Druck und erhöhte Temperatur einwirken, werden, wie R. BRAUNS 1896 ausführte, „die unter anderen Verhältnissen entstandenen Gesteine so lange umgewandelt und ihre Gemengteile umkristallisiert, bis für die neuen Verhältnisse ein Gleichgewichtszustand eingetreten ist. Völlig wird ein solcher Gleichgewichtszustand niemals erreicht werden können, da wegen der, wenn auch noch so geringen Bewegung des Wassers die alte Lösung immer wieder durch neue ersetzt wird; der Prozess der Umwandlung geht somit immer weiter und unter sonst gleichen Verhältnissen werden die Umwandlungen um so weiter vorgeschritten sein, je länger sie gedauert haben. Überall in der Erde, wo die drei Faktoren Wasser, erhöhter Druck und erhöhte Temperatur zur Geltung kommen, und im Laufe der Zeit Druck und Temperatur sich ändern, können demnach Umwandlungen eintreten, deren Grad von der Zusammensetzung der Gesteine, der Zunahme des Druckes und der Temperatur und der Zeit abhängt.“

1898 teilte C. R. VAN HISE in mehreren Abhandlungen über Metamorphose, die nicht nur die kristallinen Schiefer betreffen, die Erdkruste in eine obere „zone of fracture“ und eine untere „zone of flow“, in der sich die typischen kristallinen Schiefer bilden; das umbildende Agens ist Wasser, das unter geeigneten physikalischen Verhältnissen auch in ganz geringer Menge eine vollständige Umkristallisation eines Gesteins durch Auflösung und Auskristallisation der gelösten Massen verursachen kann und unter der richtenden Wirkung des Druckes die Neubildungen gegenüber der Druckrichtung orientiert absetzt. Die Umkristallisation und die Bildung parallel angeordneter, nach annähernd gleicher Grösse strebender Körner der gleichen

Mineralart wird ferner befördert durch die von W. OSTWALD erkannte Rekrystallisation, die Wachstumsfähigkeit grösserer Kristalle auf Kosten der kleineren. Gleichzeitig unterschied C. R. VAN HISE eine obere und eine untere „physikochemische Zone“, die wesentlich durch Temperaturunterschiede und die dadurch bewirkte Art der Mineralumwandlung charakterisiert sind: in der oberen überwiegt die Entstehung von Verbindungen unter Wärmeentwicklung, in der unteren die Dissoziation unter Wärmeabsorption.

Am schärfsten sind die kristallinen Schiefer als Produkte physikalisch-chemischer Vorgänge in der Erdrinde im Jahre 1903 von F. BECKE (auf Grund seiner mit F. BERWERTH und U. GRUBENMANN unternommenen Erforschung der Zentralkette der Ostalpen) dargestellt worden. Er erblickt „das Hauptkriterium eines kristallinen Schiefers in der Ausbildung einer gesetzmässigen Mineralassoziation aus gegebenen Stoffen in einer bestimmten Struktur, die das Resultat eines geologischen Vorganges sind“ und bezeichnet als wichtigsten Unterschied gegenüber den unveränderten Gesteinen das vollständige chemische Gleichgewicht aller Bestandteile, die durch Lösungsmittel, die alle Teile des Gesteines durchdringen, miteinander in Beziehung gebracht werden.

Für die mineralische Ausbildung massgebend ist einerseits das Volumgesetz, nach dem „sich in ihnen die Stoffe zu jenen Verbindungen zusammenfinden, welche das kleinste Volumen einnehmen“, andererseits „sein Widerspiel“, das ihm erfolgreich entgegenwirken kann, die Temperatur. Die wichtigste Ursache der Temperatursteigerung in einem Gesteinskörper ist die Annäherung an die innere Erdwärme; unter Ausschluss von Eruptivkontakt und Erzeugung von Wärme durch mechanische Arbeit oder chemische Prozesse als mehr lokale Wärmequellen unterscheidet Verf. zwei Tiefenstufen, eine untere, in welcher die Temperatur so hoch ist, dass die Bildung hydroxylreicher Minerale ausgeschlossen ist und eine Verwandtschaft mit den Mineralbildungen der Erstarrungsgesteine sich geltend macht, und eine obere, in welcher hydroxylhaltige Minerale sich bilden können und in der das Volumgesetz die Mineralbildungen beherrscht. (Das Gebiet, in dem die Übergänge von der oberen zur unteren Stufe liegen, bezeichnet U. GRUBENMANN als mittlere von drei Zonen.) Charakteristische Leitminerale sind für die untere Stufe Pyroxen, Granat, Biotit, kalkreiche Plagioklase, Kalifeldspat, Sillimanit, Cordierit, Olivin, für die obere Stufe Zoisit-Epidot, Muskovit, Albit, Anti-

gorit, Chloritoid; beiden gemeinsam sind Hornblende, Quarz, Turmalin, Staurolith, Titanit, Rutil. Geologische Vorgänge, die Gesteine der unteren Tiefenstufe an die Erdoberfläche bringen und somit Temperatur und Druck erniedrigen, regen die der höheren Stufe entsprechenden Neubildungen in Gesteinen vom Typus der unteren Tiefenstufe an.

Die als kristalloblastisch bezeichnete Struktur der kristallinen Schiefer wird hervorgebracht durch die eigenen formgebenden Kräfte der gleichalterigen Neubildungen, „ihre „Kristallisationskraft“, wonach „jene Minerale Kristallform annehmen, welche die dichtest gescharten Molekel besitzen“ und diese wieder diejenigen Kristallflächen bevorzugen, in denen die Anordnung der Molekel am dichtesten ist (besonders die Flächen der Spaltbarkeit), sodann durch die im Gestein wirksamen Druckkräfte, besonders den einseitigen Druck (= Pressung oder stress), der sich in tektonischen Vorgängen äussert und dem die Körper ihre Formenenergie entgegensetzen, während der allseitige Druck (= Druck schlechthin oder pressure) wesentlich auf die Volumenergie der ihm unterliegenden Körper einwirkt. Die durch den einseitigen Druck hervorgerufene Umformung führt Verf. weniger auf mechanische Plastizität als auf chemische Vorgänge nach dem RIECKE'schen Prinzip zurück: die am stärksten gepressten Stellen der Körner, nämlich die senkrecht zur Pressung liegenden Oberflächenelemente, werden gelöst, während die am schwächsten gepressten, in die Richtung der Pressung fallenden, in der zwischen den Körnern zirkulierenden Richtung weiter wachsen. „Hierdurch werden die Körner offenbar in der Richtung der stärksten Pressung durch Auflösung verkürzt, in der Richtung des leichtesten Ausweichens durch Wachstum ausgedehnt.“ Die auf diese Art entstehende Struktur wird als Kristallisationschieferung bezeichnet und den sie herbeiführenden Lösungs- und Kristallisationsvorgängen für die Parallelstruktur der kristallinen Schiefer mindestens die gleiche Bedeutung zugeschrieben, wie den mechanischen Wirkungen des einseitigen Druckes, der Einstellung bereits vorhandener tafeliger Individuen und der Herbeiführung von kataklastischen Erscheinungen. In welcher Weise sich bei dieser Auffassung die einzelnen Tiefenstufen und die in ihnen sich bildenden Gesteine unterscheiden, zeigen die beiden nachstehenden Tabellen nach U. GRUBENMANN.

Massgebende Faktoren der einzelnen Zonen.

	Temperatur	Wärme- tönung	Hydrostat. Druck	Stress	Vorwiegende Druck- wirkung
Oberste Zone	mässig	+	gering	stark	mechanisch
Mittlere Zone	höher	+ (—)	stärker	sehr stark	chemisch (Vo- lumengesetz) (Prinzip Riecke)
Tiefste Zone	sehr hoch	—	sehr stark	schwächer	chemisch (langsame Umkristalli- sation unter Erhaltung der Form)

Tabelle für die Gesteine der Zonen.

Oberste Zone	Quarzphyllit, Sericitphyllit, Kalkphyllit. Chloritoidschiefer, Chloritschiefer, Talkschiefer, Serpentin, Topf- stein, Epidotfels. Konglomeratschiefer, Porphyroide. Quarzite, Kataklastische Massengesteine aller Art.
Mittlere Zone	Muscovitschiefer, Muscovitbiotitschiefer, Biotitschiefer, Granat-, Staurolith-, Aktinolithschiefer, Nephrite, Glaukophanschiefer. Amphibolite, Granulite, Epidotfels, Granatfels. Glimmergneise, Hornblendegneis, Granatgneis, Epidotgneis. Marmore, Quarzite.
Tiefste Zone	Biotitgneis, Pyroxengneis, Sillimanit-, Cordierit-, Granatgneis. Biotitschiefer, Granulite, Granatglimmerschiefer, Granatfels. Eklogite, Jadeite, Augitfels, -Marmore, Quarzite.

II. Von der zweiten Gruppe von Anschauungen, die die Entstehung der kristallinen Schiefer mit Eruptionen schmelzflüssigen Materials in Verbindung bringt, soll zunächst die Auffassung besprochen werden, die in einem Teil der (stets Feldspat enthaltenden) Gneise primäre, d. h. durch keinerlei Vorgänge veränderte Eruptivgesteine erblickt.

IIa. Dass in Gebiete der kristallinen Schiefer Eruptivmassen eindringen und hier als Tiefengesteinsmassive erstarren können, wird von keiner Seite bestritten — das Gegenteil wäre unerklärlich —

ebenso ist allgemein anerkannt, dass in Tiefengesteinen parallele Anordnung der Gemengteile als Fluidalstruktur recht weit verbreitet ist. Derartige Gesteine bezeichnet man als parallel struierte Granite, Syenite etc.; ihre Erkennung muss in jedem einzelnen Fall durch geologische und petrographische Feststellungen erfolgen: „hätte man die kanadischen Eläolithsyenite von Dungannon vor vier Jahrzehnten entdeckt, so würde man sie ebenso den kristallinen Schiefen zugerechnet haben, wie man das bis vor wenigen Jahrzehnten mit den kanadischen Anorthositen und mit den Graniten des Laurentian getan hat“ (ROSENBUSCH). Gewaltige Gesteinsmassen sind jetzt schon durch derartige Forschungen aus der Reihe der kristallinen Schiefer herausgenommen worden, andere werden folgen, ohne dass hierdurch die Frage nach der Natur der kristallinen Schiefer gelöst werden kann — sie haben sich eben fälschlich in dieser Gruppe befunden —; grundsätzliche Bedeutung für die Auffassung der kristallinen Schiefer kommt jedoch der Frage zu, ob Gesteine mit der als kristalloblastisch bezeichneten Struktur der kristallinen Schiefer direkt aus Schmelzfluss auskristallisieren können.

Die Ansicht, dass ein Teil der Gneise primäre Eruptivgebilde seien, ist sehr alt; sie wurde wesentlich auf Grund der geologischen Erscheinungsform für bestimmte Gebiete angenommen und erlangte erst eine grosse Bedeutung, als um die Mitte des vorigen Jahrhunderts die älteren sächsischen Geologen, besonders K. F. NAUMANN und H. MÜLLER gewisse erzgebirgische Gneise als Eruptivgebilde ansprachen und als diese Ansicht auch auf andere, spez. norwegische Gneise übertragen wurde. Als später die charakteristischen Strukturen der Tiefengesteine und ihre durchgreifenden Unterschiede gegenüber der typischen Gneisstruktur bekannt wurden, trat für diese die Auffassung als primäre Eruptivgebilde zurück, während andererseits die Abtrennung parallel struierter Tiefengesteine von den Gneisen begann; erst in neuester Zeit unternahm E. WEINSCHENK den Versuch, die mineralogische Zusammensetzung und die Struktur zahlreicher, von anderen Forschern als dynamometamorphe Granite resp. als Orthogneise betrachteter Gneise, besonders der zentralalpiner Gneise, als primär, ihre Eigenschaften in struktureller und mineralogischer Hinsicht als notwendig für unter starkem, durch Dislokation hervorgerufenem Druck erstarrte schmelzflüssige Massen zu erklären. Der wesentliche mineralogische Unterschied, der die zentralalpiner Gneise (Granite nach WEINSCHENK) von

normalen Graniten unterscheidet, beruht in der Anwesenheit hydroxylreicher Minerale, besonders des Chlorites, der als Ausscheidung aus Schmelzfluss sonst nicht beobachtet ist, sowie von spezifisch sehr schweren Mineralen (Klinozoisit, Granat); der strukturell am meisten hervortretende Zug ist die Parallelanordnung der Glimmer und des Feldspates sowie die Zerbrechung und Zertrümmerung der Hauptbestandteile. Alle diese Eigentümlichkeiten erklärt WEINSCHENK durch Piëzokristallisation unter folgenden Annahmen: „Der das Gebirge faltende Druck ist in einer bestimmten Richtung orientiert und presst in dieser den schmelzflüssigen Kern zusammen. Die Glimmerblättchen, welche sich zuerst aus dem Magma ausschieden, werden in den Randzonen des dickflüssigen Magmas eine orientierende Wirkung des Druckes erfahren und sich senkrecht zu dessen Richtung stellen. Bekanntlich pflanzt sich aber durch eine Flüssigkeit der orientierte Druck nicht auf weitere Entfernung fort, sondern er wird zur richtungslosen Spannung, d. h. bei weiterer Entfernung von der Grenze geht die parallele Lagerung der Glimmerblättchen verloren, und das Gestein nimmt mehr und mehr richtungslose Struktur an. Die ganze erstarrende Masse steht unter ungemein bedeutender Spannung, welche das unter den gegebenen Verhältnissen denkbar kleinste Molekularvolumen der kristallisierenden Mineralien hervorzubringen bestrebt ist. Ein Teil des Wassers, mit dem der Schmelzfluss gesättigt ist, tritt in die Konstitution einzelner Mineralien ein, welche unter normalem Druck im Schmelzfluss nicht bestandfähig sind; die Plagioklase zerfallen im Moment ihrer Kristallisation in spezifisch schwere Kalktonerdesilikate, welche von dem Rest des Feldspats umhüllt werden. So bildet sich mehr und mehr ein zusammenhängendes Gerüste, in dessen Zwischenräumen die Mutterlauge des Granites noch flüssig ist. Der Druck und die dadurch bedingten Verschiebungen bringen nun mannigfache Zerbrechungen der spröderen Gemengteile hervor, und die Mutterlauge ergießt sich in die so gebildeten Risse, bis endlich das kompakte Gestein mit seiner abweichenden Beschaffenheit fertig ist.“

Von der Piëzokristallisation verschieden ist eine Annahme F. BECKE's, die er zum erstenmal 1892 für den Kepernikgneis des Altvatergebirges ausgesprochen hat und auf die er in jüngster Zeit wieder zurückgegriffen hat: Folgt in der Entwicklung eines Intrusivgesteins die Kristallisationsmetamorphose unmittelbar auf die magmatische Erstarrungsphase, so muss sich die Umformung infolge von der Anwesenheit von juvenilem Wasser und anderen Mineralisatoren beson-

ders leicht vollziehen, mechanische Phänomene mithin gänzlich zurücktreten.

IIb. Die Wurzeln der Theorie, die die Beschaffenheit der kristallinen Schiefer durch Einwirkung von Eruptivmassen auf Sedimente erklärt, reichten gleichfalls bis in das erste Drittel des 19. Jahrhunderts zurück. Sie hat ihre Ausbildung wesentlich durch französische Forscher erfahren, ist aber auch von J. LEHMANN (1884) zur Erklärung gewisser Erscheinungen bei sächsischen Granuliten herangezogen worden. In den letzten Jahrzehnten hat sie besonders durch A. MICHEL-LÉVY (1888, 1893), P. TERMIER (1901, 1903), CH. BARROIS (1884) und A. LACROIX (1900) eine tiefere Begründung sowie eine grosse Verbreitung gewonnen. Für einen Teil der kristallinen Schiefer haben sich dieser Auffassung mit gewissen Abänderungen von deutschen Forschern E. WEINSCHENK, R. LEPSIUS und in jüngster Zeit die sächsische geologische Landesanstalt, in Finland besonders auch J. J. SEDERHOLM angeschlossen.

Die von den genannten französischen Forschern vertretene Auffassung geht aus von der Beschaffenheit des Granitkontakts: nicht immer hat sich die Einwirkung des emporgedrungenen Magmas auf Anregung zu Umkristallisation im Nebengestein beschränkt, sondern es findet sich bisweilen unmittelbar am Kontakt eine schmale Zone, in der die Neubildungen chemisch und strukturell Gneisen, dunklen Glimmerschiefern, Amphiboliten gleichen und ohne die Annahme von eindringenden, dem Schmelzfluss entstammenden Substanzen nicht erklärt werden können. Erst jenseits dieser Zone beginnt der normale Kontakt. Mit fortschreitender Tiefe nimmt, wesentlich wohl unter der Einwirkung höherer Temperaturen, das Eindringen von Eruptivmaterial allmählich zu, der Gürtel der feldspatreichen Kontaktgesteine wird breiter und geht schliesslich in weite Gebiete von feldspatisierten Schiefern über, die sich in nichts von Gneisen unterscheiden. „Le métamorphisme de contact se confond peu à peu en profondeur avec le métamorphisme général“ (MICHEL-LÉVY).

Findet die „Feldspatisierung“, die besonders Glimmerschiefer in Gneise umwandelt, verhältnismässig langsam durch „Imbibition“ statt, so ändert sich die Textur des Gesteins nicht erheblich; anders ist es bei stärkerer Einpressung schmelzflüssigen Materials und bei teilweiser Einschmelzung der älteren Gesteine. Auch diese Annahmen gehen auf Beobachtungen am Granitkontakt zurück.

Bisweilen findet man am Granitkontakt einerseits ein Eindringen granitischer Substanz in Schichtgesteine resp. Schiefer längs der Trennungsebenen, so dass die Sedimente vom Magma gewissermassen injiziert sind, andererseits eine Erfüllung des Granites mit Nebengesteinsbrocken, die mehr oder weniger resorbiert werden und zu Streifen- und Schlierenbildung im Granit Veranlassung geben. Durch Übertragung der Beobachtungen auf die Verhältnisse der kristallinen Schiefer im grossen wird ein Teil von diesen als Injektionsgneise (Adergneise), ein anderer als Mischgesteine aufgefasst.

[Als beweisend für Injektion gelten bei dieser Betrachtungsweise im allgemeinen linsenförmige Einlagerungen von pegmatitischem Habitus, ferner feinkörnige Quarz-Feldspat-Aggregate von aplitischer Beschaffenheit, die bald eine mehr oder weniger vollkommene Lagenstruktur hervorrufen, bald in gewundenen Bändern den Gneis durchsetzen. Gerade diese Bildungen spricht in seinen Erörterungen über das alte Grundgebirge Deutschlands A. SAUER im Gegensatz zur Injektionslehre (1903) als integrierende Bestandteile von (metamorphen) Sedimentgneisen des Schwarzwaldes an, während er andererseits im Schwarzwald und Erzgebirge alte Eruptivgesteine kennt, deren vorzüglich entwickelte Parallelstruktur er als Fluidalphänomen betrachtet, seit er „in der Randfazies des Durbacher Granitits ein ausgezeichnet fluidal, also primär parallel streifiges, relativ grobkristallines Quarz-Feldspat-Biotitgestein kennen lernte, das in allen wesentlichen Merkmalen mit den alten Gneisen des Erzgebirges und ähnlichen Gesteinen des Schwarzwaldes übereinstimmte.“ Neben diesen beiden Arten von Gneis unterscheidet er (abgesehen von kryptogenen Gneisen, d. h. Vorkommen, deren Genesis festzustellen bisher nicht gelungen ist), noch amphotere Gneise im Sinne von Mischgneisen, aus Eruptiv- und Sedimentmaterial in engem Verband zusammengesetzt, denen er aber in den von ihm untersuchten Gebieten nur eine relativ geringe Verbreitung zuspricht.]

Mit der Zuführung von Eruptivmaterial ist ferner Kontaktmetamorphose verbunden, so dass ein Teil der kristallinen Schiefer (Cornubianitgneis, Glimmerschiefer, Amphibolite etc.) direkt als kontaktmetamorphe Bildungen aufgefasst werden. Abweichungen der mineralogischen Zusammensetzung und viel grössere Mächtigkeit der Kontakthöfe erklärt E. WEINSCHENK, der die Schieferhüllen der alpinen Zentralmassive als Kontakthöfe bezeichnet, durch die Annahme, dass unter hohem Druck sich die Reaktionen ändern und dass die durch

die Gebirgsfaltung hervorgerufene Lockerung und Zertrümmerung der Nebengesteine den unter hohem Druck eingepressten gasförmigen Mineralisatoren Gelegenheit zu nach Art und Ausdehnung besonders grossartiger Wirksamkeit darbieten (Piëzokontaktmetamorphose).

Gneise, bei denen „geodynamische Prozesse“ durch Piëzokristallisation und Piëzokontaktmetamorphose die Ausbildung bestimmt haben, bezeichnet WEINSCHENK als „alpine Fazies“; die zweite Weltgruppe der kristallinen Schiefer, die nach seiner Auffassung keine wesentliche Mitwirkung dynamischer Vorgänge erkennen lässt und von ihm auf Injektion, Resorption, Durchaderung und hierdurch hervorgerufene Kontaktmetamorphose von Sedimenten durch Eruptivmaterial zurückgeführt wird, nennt er die „normale Fazies“ der kristallinen Schiefer.

Der von É. DE BEAUMONT geprägte Begriff der Mineralisatoren (agents minéralisateurs), der im allgemeinen auf Wasser, Chlor-, Fluordämpfe und ähnliche Stoffe beschränkt wird, hat auf Grundlage der geschilderten Anschauungen über Mitwirkung von Eruptivmassen bei der Entstehung der kristallinen Schiefer besonders durch P. TERMIER (1901, 1903) eine weitgehende Ausdehnung erfahren. TERMIER führt nicht nur die Umwandlung der Sedimente der Westalpen zu Glanzschiefern (schistes lustrés) auf Kontaktmetamorphose zurück, indem er annimmt, dass von Eruptivmassen ausgehende Dämpfe die Sedimentgesteine metamorphosiert haben, sondern erklärt auch konkordant eingelagerte basische Gesteine von der Zusammensetzung der Peridotite, Gabbros, Amphibolite etc. durch die Annahme, dass Stoffe ohne Zuführungskanal „en colonnes filtrantes“ aus dem Magma in die Höhe gestiegen sind, der wechselnden Durchlässigkeit der zunächst liegenden Gesteine entsprechend in diese der Schichtung folgend in grösserem oder geringerem Masse „wie ein grösserer Ölfleck“ eingedrungen sind und sie lokal in die „roches vertes“ umgewandelt haben.

Von deutschen Forschern haben sich wohl am meisten R. LEPSIUS und G. GÜRICH den von den französischen Gelehrten vertretenen Anschauungen angeschlossen; von ihnen legt R. LEPSIUS mehr mit CH. BARROIS auf Einschmelzung des Nebengesteins durch aufsteigendes granitisches Magma, G. GÜRICH auf die Einwirkung der aus dem granitischen Magma aufsteigenden Mineralisatoren Gewicht.

Nach R. LEPSIUS (1903) scheint es „ein Gesetz zu sein, dass bei konkordanter Einlagerung des Granitlakkolithen der letztere als sog. Gneis (Gneisgranit) erstarrt, während bei diskordanter Auflagerung

der Schieferhülle der Lakkolith als ein echter massiger Granit erstarrt. In beiden Fällen absorbiert das eruptive Magma des Lakkolithen unzweifelhaft sehr grosse Massen des durchbrochenen Gebirges und der Schieferhülle; in dem ersteren Falle jedoch teilen die in das Granitmagma einsinkenden und einblätternen Schieferschichten dem Granite ihre konkordante Schichtung mit in Form der bekannten Gneisflaserung; im zweiten Falle bleibt der Granit massig.“ Durch derartige Einschmelzungen wird das Magma chemisch stark verändert und es entstehen aus ihm bei der Erstarrung chemisch und mineralogisch sehr verschiedene Gesteine; auf diese Weise erklärt LEPSIUS das sächsische Granulitgebirge als einen Granitlakkolithen, dessen wechselnde chemische Zusammensetzung durch Einschmelzung grosser Massen von verschiedenen Sedimenten mit Einlagerungen von Diabas, seine Struktur durch den Druck des überliegenden Schiefergebirges auf das Magma. Die Glimmerschiefer des Erzgebirges bezeichnet er als den inneren, die Phyllite als den äusseren kontaktmetamorphen Hof der gneisgranitischen Lakkolithen (der grossen Gneiskuppeln).

In einem gewissen Gegensatz hierzu erblickt G. GÜRICH (1904) die Ursache der stofflichen Beeinflussung der Sedimente und ihre Umwandlung in Gneise nicht in einem aus der Tiefe aufsteigenden Granitmagma, sondern nimmt an, dass die in der Tiefe trotz der hohen Temperatur unter dem gewaltigen Druck festen älteren Gesteine sich durch Nachlassen des Druckes verflüssigen, die Nebengesteine einschmelzen (Tekosphäre), und in der die Tekosphäre umhüllenden, „von Dämpfen, den sogenannten Mineralbildnern erfüllten Zone“ (der Zeosphäre) die Schiefer in Gneis verwandeln. Die eigentliche Kontaktmetamorphose beruht im Gegensatz zu diesen Vorgängen auf einer rascheren Einwirkung emporquellenden Granitmagmas.

Bis zu einem gewissen Grade ähnlich sind die Vorstellungen E. HAUG's (1907), die auf den vor langer Zeit von TH. BABBAGE und J. HERSCHEL ausgesprochenen, später von MELLARD READE weiter ausgearbeiteten Anschauungen über die Wirkung starker Temperaturerhöhungen in den tiefsten Teilen mächtiger Geosynklinalen beruhen. In der Tiefe mächtiger Geosynklinalen genügt die Temperatur und der Druck, um unter Mitwirkung von wohl aus der Tiefe zutretenden Mineralisatoren die Sedimente ganz oder teilweise in ein granitisches Magma zu verwandeln, das bei sinkender Temperatur als granitisches Gestein erstarrt. (Eine derartige Schmelzung von Sedimenten zu einem granitischen Magma nehmen auch A. LECLÈRE (1906) und P. TERMIER

(1907) an.) Seitlich und in etwas geringerer Tiefe werden die gleichen, in der Tiefe in Granit verwandelten Sedimente von diesem granitischen Schmelzfluss injiziert oder durch Mineralisatoren längs den Schichtflächen imprägniert. Von den höheren Teilen der in granitisches Magma umgewandelten Massen aus findet Injektion und Imprägnation in erheblich geringerem Grade statt, in den obersten Teilen der in Granit verwandelten Partie hat die Zuführung von Mineralisatoren gerade noch genügt, um die Sedimente in granitisches Magma zu verwandeln, reicht aber nicht mehr zur stofflichen Veränderung des ungeschmolzenen Nebengesteines und des Hangenden, so dass sich hier nur mineralogisch und strukturell, nicht chemisch vom unveränderten Sediment abweichende Kontakthöfe bilden können. Die Möglichkeit des Aufsteigens granitischer Magmen soll hierdurch nicht allgemein bestritten werden, sie wird im Gegenteil als unter bestimmten Bedingungen sehr wahrscheinlich bezeichnet.

Überblickt man zum Schluss die heute vertretenen Anschauungen über die Entstehungsweise der kristallinen Schiefer, so zeigen sich neben tief greifenden Unterschieden doch eine Reihe von gemeinsamen Gesichtspunkten. Zunächst herrscht — und das ist in geologischer Hinsicht ein sehr bedeutender Fortschritt — unter den Petrographen und petrographisch geschulten Geologen Einstimmigkeit darüber, dass es keine Formation der kristallinen Schiefer, mithin auch keine allgemein gültige Einteilung in ältere Gneise und jüngere Glimmerschiefer gibt. Einigkeit besteht ferner in der Überzeugung, dass am stofflichen Aufbau der kristallinen Schiefer Eruptiv- und Sedimentmaterial teilnimmt und schliesslich für einen sehr grossen Teil der kristallinen Schiefer in der Erkenntnis, dass in ihnen metamorphe, durch Umwandlung älterer Gesteine hervorgebrachte Gebilde vorliegen und dass während der ganzen Dauer dieser Umwandlung der weitaus grösste Teil des von ihr ergriffenen Gesteins sich stets in festem Zustand befunden hat. Zweifelhaft ist die Frage, wie viel unveränderte Eruptivgesteine noch zu den kristallinen Schiefen gerechnet werden — dies kann nur von Fall zu Fall durch Spezialuntersuchung entschieden werden — strittig ist die von mancher Seite ausgesprochene Annahme, dass unter hohem Druck kristallisierende Magmen mineralogisch und

strukturell von normalen Tiefengesteinen abweichende Gesteine von der Beschaffenheit gewisser Gneise liefern (Piezokristallisation), sowie die Annahme, dass Einschmelzung des Nebengesteins und Hereinbrechen des Hangenden eine Auskristallisation von Gneisen aus Schmelzfluss veranlasst. Meinungsverschiedenheiten bestehen ferner, wie oben ausgeführt, über die Ursachen der Gesteinsumwandlung, besonders über die Fragen, inwieweit ohne Zuführung von neuem Material Druck und erhöhte Temperatur durch Umgestaltung der Bergfeuchtigkeit zu überhitztem Wasser als Mineralisator die Veränderungen hervorrufen, wie weit direkte Zuführung von Eruptivmaterial oder die Einwirkung von Mineralisatoren (in weiterem Sinne) die aus schmelzflüssigen Massen der Tiefe empordringen, die Metamorphose verursachen, mit anderen Worten, ob in den kristallinen Schiefen veränderten physikalischen Verhältnissen, besonders hohem Druck und hoher Temperatur angepasste oder durch Kontaktmetamorphose (im weitesten Sinne einschliesslich Injektion) umgeänderte Gesteine vorliegen.

So weittragend die Unterschiede dieser Auffassungen sind — man braucht nur an die verschiedenen Deutungen der erzgebirgischen Gneise zu denken — so ist doch gegenüber den zahlreichen sich scharf gegenüberstehenden Anschauungen, wie sie etwa zwischen 1860 und 1880 vertreten wurden, eine erhebliche Annäherung festzustellen. Das berechtigt zu der Hoffnung, dass sich die Wissenschaft auf den eingeschlagenen Wegen im allgemeinen dem erstrebten Ziele nähert; die Hoffnung wird bestärkt durch das immer deutlicher hervortretende Bestreben, die geologisch und petrographisch beobachteten Tatsachen vom chemisch-physikalischen Standpunkt aus zu verstehen und auf dieser erweiterten und befestigten Grundlage die Theorien über die Entstehung der kristallinen Schiefer aufzubauen.

Verzeichnis der im Aufsatz erwähnten Literatur (vom Jahre 1880 beginnend).

1. BARROIS, CH.: Le granite de Rostrenen, ses apophyses et ses contacts. *Annal. soc. géol. du Nord* XII. S. 1 ff. 1884.
2. BECKE, F.: Vorläufiger Bericht über den geologischen Bau und die kristallinen Schiefer des hohen Gesenkes (Altvatergebirge). *Sitz.-Ber. d. Wiener Akademie* 101. 1. S. 286 ff. 1892.
3. — — Über Mineralbestand und Struktur der kristallinen Schiefer. *Denkschr. d. math.-naturw. Kl. d. k. Akad. d. Wissenschaften* 75. Wien 1903.

4. BRAUNS, R.: Chemische Mineralogie. S. 371—373. Leipzig 1896.
5. GRUBENMANN, U.: Die kristallinen Schiefer I. Berlin 1904.
6. GÜRICH, G.: Granit und Gneis. Himmel und Erde 17. S. 241 ff. Berlin 1905.
7. HAUG, E.: *Traité de Géologie I.* p. 172—191. Paris 1907.
8. HEIM, A.: Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung. Bd. II. Basel 1878.
9. VAN HISE, C. R.: Metamorphism of rocks and of rock flowage. Amer. Journ. of Sc. 156. S. 75 ff. 1898.
10. — — A Treatise on Metamorphism. Monogr. of the U. S. Geol. Surv. 47. 1904.
11. LACROIX, A.: Le granite des Pyrénées et ses phénomènes de contact. Bull. Serv. Carte géol. de France 64 und 71. 1898. 1900.
12. LEHMANN, J.: Untersuchungen über die Entstehung der altkristallinen Schiefergesteine. Bonn 1884.
13. LEPSIUS, R.: Geologie von Attika. Ein Beitrag zur Lehre vom Metamorphismus der Gesteine. S. 180—194. Berlin 1893.
14. — — Geologie von Deutschland. Teil II. S. 102 ff. Leipzig 1903.
15. LOSSEN, C.: Geognostische Beschreibung der linksrheinischen Fortsetzung des Taunus. Zeitschr. d. Deutsch. geol. Ges. 29. S. 509 ff. 1867.
16. MICHEL-LÉVY, A.: Note sur la formation gneissique du Morvan. Bull. soc. géol. de France. 3 série. 7. S. 857 ff. 1882.
17. — — Sur l'origine des terrains cristallins primitifs. Bull. soc. géol. de France. 3 série. 16. S. 102 ff. 1888.
18. — — Contribution à l'étude du granite de Flamanville et des granites français en général. Bull. Serv. Carte géol. de France. 36. 1893.
19. MILCH, L.: Die Diabasschiefer des Taunus. Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Ges. 41. S. 394 ff. 1889.
20. — — Beiträge zur Lehre von der Regionalmetamorphose. Neues Jahrbuch f. Min. B. B. 9. S. 101 ff. 1894.
21. — — Über Zunahme der Plastizität bei Kristallen durch Erhöhung der Temperatur. Neues Jahrb. f. Min. 1909. I. S. 60 ff.
22. ROSENBUSCH, H.: Zur Auffassung des Grundgebirges. Neues Jahrb. f. Min. 1889. II. S. 81 ff.
23. — — Zur Auffassung der chemischen Natur des Grundgebirges. TSCHERMAK's Min. Petr. Mitt. 12. S. 49 ff. 1891.
24. — — Elemente der Gesteinslehre. 3. Aufl. S. 73 ff. 575 ff. Stuttgart 1910.
25. SAUER, A.: Das alte Grundgebirge Deutschlands. Compte rendu IX^e Session du Congrès géologique international. Wien 1903. S. 587 ff.
26. SEDERHOLM, J. J.: Studien über archaische Eruptivgesteine aus dem südwestlichen Finnland. TSCHERMAK's Min. Petr. Mitt. 12. S. 97 ff. besonders S. 134 ff. 1891.
27. — — Über eine archaische Sedimentformation im südwestlichen Finland und ihre Bedeutung für die Erklärung der Entstehungsweise des Grundgebirges. Bull. de la Comm. Géol. de la Finlande. 6. 1899.
28. TERMIER, P. Sur les micaschistes, les granites, les gneiss, les amphibolites et les roches vertes des schistes lustrés des Alpes occidentales. Compt. rend. de l'Acad. d. Sc. 133. S. 841 ff. Paris 1901.
29. — — Les trois séries cristallogéologiques des Alpes occidentales. l. c. S. 964 ff.

30. TERMIER, P., Les schistes cristallins des Alpes occidentales. Compte rendu IX^e Session du Congrès géologique international. Wien 1903. S. 571 ff.
 31. WEINSCHENK, E., Beiträge zur Petrographie der östlichen Zentralalpen, speziell des Gross-Venedigerstockes. Abh. Bayr. Akad. d. Wissensch. II. Bl. 1894. 18. S. 651 ff., 715 ff.
 32. — — Mémoire sur le dynamométamorphisme et la piézocristallisation. Compte rend VIII^e Session du Congrès géologique international. Paris 1900. S. 326 ff.
 33. — — Allgemeine Gesteinskunde als Grundlage der Geologie. Freiburg 1902. Zweite Aufl. 1906.
-

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Geologische Rundschau - Zeitschrift für allgemeine Geologie](#)

Jahr/Year: 1910

Band/Volume: [1](#)

Autor(en)/Author(s): Milch Ludwig

Artikel/Article: [Die heutigen Ansichten über Wesen und Entstehung der kristallinen Schiefer 36-58](#)