
Abdruck
aus
**Fortschritte der Mineralogie, Kristallographie und
Petrographie.**

Herausgegeben von der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft
unter der Redaktion von

Dr. A. Johnsen,
Professor der Mineralogie an der Universität Berlin.

Neunter Band.

Verlag von Gustav Fischer in Jena.
1924.

Struktur und Klüftung.

Von

F. Becke,

Wien.

Mit 4 Abbildungen im Text.

Inhalt.

	Seite
1. Schieferung und Faltung	186
2. Abbildungskristallisation	192
3. Porphyroblasten, Einschlußwirbel	194
4. Gefügeregelung	200
5. Kaltreckung und Warmreckung	208
6. Deformationsverglimmerung bei Feldspaten	211
7. Symmetrie der Strukturen	212
8. Granittektonik	213

Seit dem Bericht über Metamorphose im 5. Band der Fortschritte sind die Probleme des Gefüges, der Faltung und Klüftung der Gesteine vielfach Gegenstand der Erörterung gewesen. Viele Beobachtungen wurden gemacht und theoretische Ansichten wurden aufgestellt, so daß ein Bericht hierüber sich lohnen mag. Die chemischen und geologischen Fragen, die sich an diese Forschungen anknüpfen, sind vorläufig zur Seite gestellt.

Im allgemeinen knüpfe ich an an das 1916 Besprochene; jedoch werden auch früher erschienene Abhandlungen herangezogen, wenn es der Zusammenhang erfordert.

Die Abhandlung über Mineralbestand und Struktur kristalliner Schiefer aus dem 75. Band der Denkschriften der Wiener Akademie, die als Separatabdruck 1903 erschienen ist, darf ich wohl als bekannt

voraussetzen. Manche von den seither erschienenen Arbeiten knüpfen an das dort Dargestellte an, teils weiterführend, teils einschränkend oder ablehnend.

1. Schieferung und Faltung.

In der erwähnten Abhandlung wurde betont, wie häufig in metamorphen Gesteinen Parallelgefüge zustande kommt lediglich durch die Ausbildung und Anordnung von kristallinen Gemengteilen, die frei sind von sichtbaren Spuren mechanischer Beeinflussung wie Kataklyse, Mörtelstruktur, Druckzwillingslamellen, Verbiegung, undulöse Auslöschung usw. Dieselbe Feststellung findet sich schon in einer halbvergessenen Arbeit (Geologischer Bau und kristallinische Schiefer des hohen Gesenkes, Sitzungsber. Wiener Akademie 101, 1892) bezüglich des Kepernikgneises. Sie war zu jener Zeit wichtig, weil jene mechanischen Deformationsspuren als Kennzeichen von Bewegungen im Gestein über Gebühr eingeschätzt wurden.

Es wurde ¹⁾ die Hypothese aufgestellt, daß diese Struktur durch Wachsen der Gemengteile unter Einwirkung von Pressung (d. i. nach Richtung verschiedenem Druck) zustande komme. Dieses Wachsen ist aber im Gestein nur möglich, wenn an anderen Stellen gleichzeitig Lösung desselben Gemengteils oder anderer Gemengteile (Lösungsumsatz) stattfindet. RIECKE'S Prinzip: ein mechanisch deformierter Kristall löst sich, während ein nichtdeformierter in der gleichen Lösung wächst, gab für den Vorgang eine physikalische Erklärung.

Bei der Ableitung wurde der einfachste Fall von Pressung unter Normaldruck angenommen. Es wurde verabsäumt ausdrücklich zu sagen, daß Analoges für jede Art gerichteten Druckes gelten muß.

Eine einfache Parallelstruktur dieser Art wurde als Kristallisationsschieferung bezeichnet und der gleiche Name auch zur Bezeichnung des Vorgangs benützt. Allgemein wurden solche Strukturen als kristalloblastisch, der Vorgang später als Kristalloblastese bezeichnet.

Kristalloblastese umfaßt also nicht nur die einfache Schieferung, sondern auch Streckung, Faltung überhaupt jede Struktur, die durch Ausbildung und Anordnung mechanisch unversehrter Kristalle hervorgebracht wird, also auch die richtungslose Hornfelsstruktur.

Kristalloblastische Parallel- oder sonst gerichtete Strukturen können, wie neuere Autoren betonen, auch durch andere Momente als gerichtete Drucke hervorgebracht werden. Ich bin ganz einverstanden, daß der

¹⁾ schon 1892.

Terminus kristalloblastisch von hypothetischen Vorstellungen losgelöst rein beschreibend gebraucht werde. Als wesentlich erscheint mir aber über das rein Deskriptive hinaus, daß die Struktur durch Wachsen der Gemengteile im festen, wenn auch durch die Metamorphose bildsamen Gestein zustande kommt, was stets auch ein gleichzeitiges Lösen derselben oder anderer Gemengteile an anderen Stellen des Gesteins voraussetzt. Die Merkmale kristalloblastischer Struktur sind in der Abhandlung von 1903 dargelegt, und es sind noch weitere im Laufe der Zeit hinzugekommen.

Ich wende mich nun zunächst zu einem zusammenfassenden Bericht über B. SANDER's Untersuchungen, welche ebensowohl durch das ehrliche Streben des Verfassers den Erscheinungen auf den Grund zu gehen, als durch die Ausdauer, mit der er die verschiedensten Gebiete zum Vergleich heranzieht, volle Anerkennung und Beachtung verdienen, trotz der manchmal etwas schweren Form der Darstellung und der häufigen Verwendung von Buchstabensymbolen, welche die Aufsätze nicht immer leicht lesbar machen.

Ein Leitgedanke der SANDER'schen Untersuchungen ist die Verfolgung von Teilbewegungen im Gefüge, die er durch ihre Kennzeichen im Dünnschliff festlegt, und die sich summieren lassen zu den großen Rindenbewegungen, die der Tektoniker in den Profilen studiert.

SANDER ist zunächst imstande das Vorhandensein und die Verbreitung solcher summierbarer Teilbewegungen nachzuweisen. Gesteine dieser Art sind für ihn „Tektonite“. Er vermag ferner die Art dieser Bewegungen festzulegen, ob sie mehr durch „Mobilisation“ des Gefüges bewirkt werden, was ungefähr durch Lösungsumsatz wiedergegeben werden kann, oder mehr durch mechanische Deformation (rupturelle, kataklastische oder plastische Umformung der Gemengteile).

Ein zweites Moment ist für SANDER charakteristisch: Die scharfe Erfassung des zeitlichen Ablaufes der einzelnen Phasen der Metamorphose. Hierüber wurde schon im 5. Band der Fortschritte S. 249 ff. berichtet. Den Grundgedanken: zeitliche Trennung der mechanischen Umformung und der Kristallisation hat er immer schärfer ausgebaut. Bekanntlich unterscheidet er:

a) vorkristallin deformierte metamorphe Gesteine. Das Gefüge zeigt die Spuren von Teilbewegung in Schieferung, Faltung usw., die Gemengteile sind aber unversehrte Kristalle. Die Kristallisation ist der Teilbewegung nachgefolgt oder hat sie doch überdauert,

b) parakristallin deformierte Gesteine. Mechanische Deformation und Kristallisation sind gleichzeitig und greifen ineinander.

c) nachkristallin deformierte Gesteine. Eine Phase mechanischer Deformation, sei es rupturrell oder stetig, plastisch, mit den optischen

Folgeerscheinungen folgt auf die Kristallisation. Diese Gruppe umfaßt also alle Stufen von Kataklyse im weiteren Sinne, von leichter Verbiegung der Glimmer und undulöser Auslöschung des so empfindlichen Quarzes bis zu weitgehender innerer Zertrümmerung des Gesteins. Die nachkristalline Deformation kann sich auf einzelne Gemengteile beziehen, z. B. auf Quarz, während andere z. B. Karbonate keine Deformationsspuren zeigen. Das Auftreten von Mischtypen wird hervorgehoben.

Parakristalline Deformation scheint SANDER bloß dann anzuerkennen, wenn ein Gesteinsgemengteil teils in mechanisch deformierten, teils in gut kristallisierten unversehrten Individuen nachgewiesen ist. Zur Illustration sei aus (25 S. 608) nachfolgendes zitiert:

Glimmerschiefer (Biotit, Muscovit), Gehänge der Kramerspitze gegen Senges, Hülle des Zillertaler Gneises der Sengesser Kuppel. Muster für parakristalline Faltung.

In diesem Falle hat die Faltung eingesetzt, nachdem die Mehrzahl der schönen übrigens selten chloritisierten Biotite vorhanden war und hat sie gestaucht und zu Falten gebogen, wie besonders an kleinen Falten deutlich wird. In anderen gleichgroßen Faltenbögen bilden ganz gleiche Biotite unversehrte Gebälke, wie sie nur bei Überholung der Faltung durch die Kristallisation als „reliktische“ Falten vorkommen können. Die Faltung ist also in bezug auf Biotit parakristallin.

Dasselbe gilt in bezug auf den in kleineren Individuen kristallisierenden Muscovit.

Das aus isometrischen scharfeckigen Körnern bestehende Quarzgefüge zeigt keine der Faltung entsprechende Kataklyse, ist also vorkristallin gefaltet.

Diese Vorstellungen werden in den späteren Arbeiten SANDER'S immer schärfer herausgearbeitet: Das Gestein sei in der auf die Deformation folgenden Kristallisationsphase förmlich erstarrt. Man dürfe von einer mechanischen Erstarrung mancher heftig durchbewegter kristalliner Schiefer anlässlich ihrer Kristallisation sprechen (25, S. 602). Selbst wenn die Beobachtungen die Annahme von Ineinandergreifen von Deformation und Kristallisieren zwingend fordern, ist er eher geneigt die Gesteinsbewegung ruckweise vor sich gehen zu lassen, und dem Gestein Ruhepausen für die Kristallisation zuzugestehen (25, S. 625).

Der Berichterstatter hat schon im 5. Band der Fortschritte S. 250 eine etwas andere Auffassung vertreten.

Vollzieht sich die Deformation unter günstigen Kristallisationsbedingungen bei entsprechender Temperatur und konstantem mittlerem (hydrostatischen) Druck und zwar so langsam, daß der Prozeß der Auflösung hier und des Wachsens da der mechanischen Beanspruchung zu folgen vermag — ich weiß nicht, was das Gestein verhindern sollte in seinem Gefüge genau dem Bilde zu entsprechen, das SANDER von der vorkristallinen Deformation in Wort und Bild beschreibt.

Meine Auffassung geht also dahin, daß ich in vielen Fällen, wo SANDER eine zeitliche Aufeinanderfolge von Deformation und Kristallisation annimmt, an einen einheitlichen Vorgang

glauben möchte, von dem Deformation und Kristallisation nur zwei genetisch zusammenhängende Seiten darstellen. Man vergleiche dazu, was in dem Abschnitt über Porphyroblasten gesagt ist.

Für die Faltung metamorpher Gesteine gilt, wie SANDER an vielen Beispielen durch Abbildung und Beschreibung nachweist, das Gesetz der Stauchfaltengröße. Je dichter die durch geringen Scherungswiderstand ausgezeichneten Flächen aufeinanderfolgen, je weniger mächtig die widerstandsfähigeren, die Pressung weiter leitenden Lagen sind, desto kleinere Falten werden gebildet. Dieses für die Tektonik im großen längst bekannte Gesetz gilt mit überraschender Deutlichkeit bis in mikroskopische Dimensionen hinein (20, S. 286).

Vollkommen berechtigt ist es, wenn SANDER den Einfluß von Flächen geringen Widerstandes gegen Scherung in den der Umformung unterliegenden Gesteinen auf den ferneren Ablauf der Deformation hervorhebt. Als solche kommen in Betracht: Feinschichtung in Sedimenten, namentlich tonige Zwischenlagen zwischen mehr sandigen, wie sie als Warvenschichtung in vielen Tonschiefern auftreten, ferner irgendwie einmal entstandene Schieferungsflächen. Jede spätere Beanspruchung des Gesteins zerlegt sich so in Komponenten, daß ein Teil der Umformung sich durch Scherung längs diesen bevorzugten Flächen auswirkt, die bei fortschreitender Deformation immer deutlicher ausgearbeitet werden.

SANDER legt auch viel Gewicht auf die leichtere Wegsamkeit eines einmal mit Parallelstruktur versehenen Gesteins in der Schieferungsebene für die Lösungen, die das Gestein durchziehen. Diese leichtere Wegsamkeit in „s“ bedingt dann auch Beschleunigung des Wachstums der Gemengteile in derselben Richtung. Oblonge Gestalt von Granatkristallen, von Plagioklaskörnern möchte er auf diese Art erklären (25, S. 572).

In mehreren durch ausgezeichnete Photogramme illustrierten Arbeiten (22, 25, 29, 30, 32) hat SANDER diese Studien auf verschiedene Teile seines Aufnahmegebietes in den Alpen ausgedehnt, auch Vergleichsmaterial aus anderen Teilen der Alpen und anderen Gebieten metamorpher Gesteine herangezogen. Außer dem Nachweis der weiten Verbreitung durchbewegter Gesteine gelingt es ihm auch vorherrschende Gefügetypen für bestimmte Gebiete nachzuweisen. Auf diese Resultate hier näher einzugehen ist nicht möglich, da ihre Bedeutung nur im Zusammenhang mit dem geologischen Bau der betreffenden Gebirgsteile diskutiert werden kann. Nur ganz im allgemeinen mag erwähnt werden, daß SANDER in der Schieferhülle des Zentralgneises ein Gebiet mit vorzugsweise vorkristalliner Deformation erkennt, daß ähnliche Verhältnisse auch im Gebiet von Schneeberg in Passeier westlich von Sterzing herrschen.

In den kristallinen Schiefen der Laaser Gruppe ist Feinschichtung schon vor der Kristalloblastese vorhanden und weist dieser den Weg. Viele Beispiele zeigen Teilbewegung in der Schieferungsebene vor und bei der Kristalloblastese sowie Fältelung, die der Kristalloblastese voranging. Die häufigste Regel ist Kristallisationsschieferung zum Teil als Abbildungskristallisation entwickelt.

Die Ötztaler Schiefer zeigen vorzugsweise Fältelung nach der Kristallisation, doch sind auch größere Gebiete mit reiner Kristallisationsfaltung vorhanden, die Kristallisation überdauert die Gefügebewegung. Nachkristallin mit Diaphthorese ist die Verfaltung der Stubai Gneise mit dem Mesozoikum der Kalkkögel, weiterhin die in den Amphiboliten der Breitenau nördlich von Graz und im Albitgneis des Wechsels. Glimmerschiefer von Turrach und Ramingstein (Lungau) zeigt parakristalline Faltung.

In den Gebieten des Ortler Kristallins und der Ötztaler Gneise findet SANDER kristalloblastische Schieferung durch spätere Fältelung vollkommen ausgearbeitet. Vielfach spielt Fältelung die Hauptrolle und bringt Gefügeregelung des Quarzes mit sich.

In den altkristallinen Arealen nördlich vom Brixener Granit sind nachkristalline Faltungen ohne Diaphthorese charakteristisch.

Bei einem Vortrag über Vorgänge in der Gesteinswelt und ihre Messung kommt MÜGGE auch auf die Ausbildung der Parallelstruktur in kristallinen Schiefen zu sprechen (18).

Er geht aus von der Beobachtung, daß Spalten in einem Gestein häufig von einem parallelfaserigen Aggregat eines Minerals erfüllt sind, welches als Gemengteil des Gesteins gewöhnlich vorkommt. Zur Erklärung nimmt er an, daß auf den Wänden einer Spalte im Moment ihrer Entstehung zahllose Keime des Faserminerals vorhanden sind. Beim Aufreißen der Kluft wachsen sie in die Kluft mit verschiedener Geschwindigkeit nach verschiedenen Richtungen. Nach einiger Zeit werden die Spitzen jener Kristalle am weitesten vorgedrungen sein, deren größte Wachstumsgeschwindigkeit zufällig senkrecht zur Kluftwand orientiert war. Weichen nun die Wände der Kluft langsamer auseinander als der kleinsten Wachstumsgeschwindigkeit der Kristalle entspricht, so blieben die Kristalle mit ihren Spitzen fortdauernd in Berührung mit der zurückweichenden Wand. So entstehen parallel faserige Aggregate des Minerals, dessen einzelne Fasern beliebig wechselnde kristallographische Orientierung haben.

War die Geschwindigkeit der Kluftwand größer als die kleinste Kristallisationsgeschwindigkeit aber kleiner als die größte Wachstumsgeschwindigkeit des Faserminerals, so werden die langsam wachsenden Fasern zurückbleiben und die vor ihnen entstehenden Hohlräume durch Seitenwachstum der rascher wachsenden Fasern ausgefüllt werden;

so daß nun das Faseraggregat aus solchen Individuen besteht, die untereinander parallel orientiert sind, d. h. die Richtung größter Wachstumsgeschwindigkeit senkrecht zur Klüft haben.

MÜGGE wendet diese Vorstellung nun auch auf die mikroskopischen und submikroskopischen Lücken an, die unter Einwirkung einer einseitigen Pressung durch Auseinanderweichen der Gesteinselemente in der Richtung senkrecht zum Druck entstehen müssen.

Die benachbarten Gesteinsgemengteile wachsen in diese tafiligen Hohlräume hinein und füllen sie aus. Auf diese Art nehmen sie selbst tafelige Gestalt senkrecht zur Pressung an und erzeugen so Parallelstruktur. Der geschilderte Vorgang kann zur kristallographischen Orientierung d. h. zur Stellung einer bestimmten Kristallfläche parallel der Schieferungsebene bei solchen Mineralien führen, denen große Unterschiede der Wachstumsgeschwindigkeit nach verschiedenen Richtungen zukommen, wie z. B. den Glimmern.

Analoge Vorgänge führen zur Streckung, wenn die Druckverteilung danach ist, daß das Auseinanderweichen der Gesteinselemente vorzugsweise in einer Richtung innerhalb der Schieferungsebene vor sich geht.

Die Vorstellung MÜGGE's scheint ganz einleuchtend; ich möchte von meinem Standpunkte darauf hinweisen, daß, wenn innerhalb des Gesteins Wachsen der Kristalle nach einer oder allen Richtungen einer Ebene stattfinden soll, doch auch der Lösung Material zugeführt werden muß. Neben den Stellen des Wachstums muß es Stellen der Auflösung geben, sei es desselben Minerals oder solcher Minerale, welche das Material für die wachsenden Kristalle liefern können. Kurz, wir kommen auch, wenn wir MÜGGE's Vorstellung annehmen, nicht um die Notwendigkeit herum im Gestein nebeneinander Stellen von Auflösung und Wachstum anzunehmen, was eben das Wesen von unserer Vorstellung von Kristallisationsschieferung oder allgemeiner von Kristalloblastese ist.

Gewiß betont MÜGGE mit Recht, daß solche Umsetzungen und Umkristallisierungen innerhalb der Gesteine sich vollziehen unter Mitwirkung von Lösungen, die keine hohe Konzentration haben können, daß demnach die Umsatzgeschwindigkeit eine sehr geringe sein muß, und wir werden auch hier wieder zu dem Postulat geführt, daß für die Metamorphose große Zeiträume ein unausweichliches Erfordernis darstellen.

Auf einen eigenartigen Typus von Fältelung in phyllitischen Gesteinen machte OHNESORGE gelegentlich eines Vortrages über das Gebiet der Kupferkieslagerstätten von Kitzbüchel in Tirol in der Wiener Mineralogischen Gesellschaft am 3. März 1924 aufmerksam. Sericit-Chlorit-Phyllite des Paläozoikums sind dort nach nahezu horizontalen ungefähr N—S gerichteten Faltungssaxen gefältelt. Es alter-

nieren, wie beistehende schematische Zeichnung andeutet, zwei Lagen von Faltungsschenkeln, deren spitzwinkelige Scharniere in nahezu ebene parallele Flächen angeordnet sind. OHNESORGE nimmt an, eines von den beiden Systemen und zwar, das gegen West absinkende stelle die ursprüngliche Lage der Parallelstruktur dar, die auf schichtartigen Wechsel von mehr quarzitischen und mehr glimmerigen Lagen beruht. Das zweite ostfallende sei durch einen schief gegen diese Parallelstruktur gerichteten einseitigen Druck längs Schiebungsflächen umgestellt worden. OHNESORGE bezeichnet diesen eigentümlichen Faltungstypus als Schoppfalten. Ohne sich auf den von OHNESORGE aus lokaltektonischen Gründen abgeleiteten Erklärungsversuch festzulegen, kann man wohl sagen, daß formell mit den vorgewiesenen Faltungsstücken übereinstimmende Fältelungen in Schiefnern mit warvenähnlicher Feinschichtung besonders in den Kernen von Antiklinalen und Synklinalen nicht selten vorkommen.



Fig. 1.

2. Abbildungskristallisation.

Schon in der Abhandlung (20) stellt SANDER den Begriff Abbildungskristallisation auf und unterscheidet ihn scharf von der durch Spannungsunterschiede hervorgerufenen Kristallisationsschieferung. Als Typus bildet er ab und beschreibt er einen Dünnschliff von Quarzphyllit des Vikartales bei Innsbruck. Quarz, Feldspat (wohl Albit?) Muscovit, Biotit, statt dessen auch Chlorit, sind die Gemengteile. Es sind reine Quarzlagen, sehr feinkörnige Quarz-Feldspatlagen vorhanden, beide von einzelnen der Schichtung parallelen Muscovittafeln durchsetzt. In den glimmerreichen Lagen liegen die Biotite (und Chlorite) öfter quer zur Parallelstruktur s. Die Muscovite in großen und kleinen Schuppen parallel zu s. Die Glimmerdurchschnitte, auch dort, wo die Glimmerlagen starke Faltung mitmachen, sind weder gebogen noch geknickt. Die von den Glimmern gebildeten scheinbar weichen Faltenbögen lösen sich bei näherem Zusehen in Polygonalbögen auf. Die geradlinigen Glimmerdurchschnitte liegen tangentiell zu den Kurvenlinien der Faltung. Damit scheint SANDER die Kristallisation nach der Faltung festgestellt. Gegen die Faltung während der Kristalloblastese sprechen nach ihm zwei Gründe:

1. Es ist nicht möglich anzunehmen, daß die größten Druckspannungen allenthalben normal zu den Faltungskurven stehen.
2. Selbst wenn die Spannungen überall der Faltung angepaßt wären, müßte man verbogene Glimmer erwarten, denn die zu Beginn der Faltung kristallisierenden Glimmertafeln müßten sich im weiteren

Verlauf der Faltung dieser durch Biegung anpassen. Demnach erscheint das kristalloblastische Gefüge nicht als Kristallisations-schieferung unter dem Einfluß mechanischer Spannungen, sondern nur als die Abbildung älterer bei der Faltung vorhandener und zu Falten gebogener Flächen auf Grund des kristallinen Weiterwachsens in diesen Flächen angeordneter und schon gerichteter Keime.

Soweit die Schlußfolgerung von SANDER, die von vielen Autoren übernommen wurde. Namentlich die Polygonalbögen von Biotit werden seither unter Berufung auf ihn häufig als Kennzeichen von Abbildungskristallisation und als Zeugen für die Abwesenheit gerichteter Spannungen angeführt.

Auch hier weicht meine Auffassung etwas von der SANDER's ab. Die Polygonalbögen möchte ich nicht als sichere Kennzeichen der Abwesenheit von Druckspannungen anerkennen. Wenn man sich die Mühe nimmt an der Hand von Trajektorien für die parallelepipetischen Elemente einer ebenen Schicht die Deformationsellipsen beim Übergang in eine Stauchfalte zu zeichnen und weiter annimmt, daß die Lage der Glimmerblätter entweder dem längsten Durchmesser der Deformationsellipse,¹⁾ oder jener Scherfläche entspricht, welche während der Deformation ihre Lage beibehält,²⁾ so erhält man Lagen, welche ziemlich genau den Tangenten an die Faltungsbögen entsprechen oder von dieser Lage etwas gegen die Symmetrielinie der Falte abweichen. Das stimmt sehr gut mit Beobachtungen, die man an kristalloblastischen Faltungsbildern machen kann. Näher auf diese Fragen hier einzugehen ist nicht möglich. Es soll an anderer Stelle geschehen. Jedenfalls ergibt sich: Polygonalbögen der Glimmer in gefalteten Gesteinen sind auch mit gerichteten Spannungen verträglich, welche die Faltung bewirkt haben.³⁾

Durch diese Bemerkungen will ich kein absprechendes Urteil über Abbildungskristallisation überhaupt ausgesprochen haben. Im Gegenteil ich meine diese Vorstellung hat einen guten Geltungsbereich dort, wo es sich um die zahllosen winzigen glimmerähnlichen Schüppchen der Tonschiefer und Phyllite handelt, die die Lage der größeren Muscovittafeln der Glimmerschiefer bestimmen und vorbilden.

O. H. ERDMANNSDÖRFER ist bei dem Studium metamorpher Gesteine von Prnar-Dagh in Mazedonien zu dem Resultat gekommen, daß die

¹⁾ Nach der Theorie von SHARPE u. LEITH (16, S. 84).

²⁾ Nach der Theorie von Geo. F. BECKER (4, 5, 6).

³⁾ Daß hier Schwierigkeiten vorliegen, hebt übrigens SANDER selbst hervor (24, S. 239): „Die Unterscheidung von Abbildungskristallisation nach beendeter Deformation und Kristallisationsbewegung während der Deformation ist eine besonders schwierige von Fall zu Fall zu behandelnde Frage, welche mir der Name Rekristallisation in der amerikanischen Literatur häufig zu umgehen scheint.“

Paralleltextur der auftretenden kristallinen Schiefer (Marmorbänke wechselnd mit Schiefergneisen, quarzitische Lagen in letzteren, Wechsel von biotit- und muscovitreichen Lagen in den Gneisen, schichtförmige Lagen von kohliger Substanz) wesentlich als abgebildete Schichtung zu betrachten ist. Die durch Parallelstellung der schieferholden Minerale hervorgebrachte Teilbarkeit = Schieferung geht stets der Grenze der stofflich verschiedenen Lagen parallel. Anzeichen von Durchbewegung in der Periode vor der Endkristallisation fehlen nicht durchaus. Z. B. Faltung, Flaserung in Sedimentgneisen, Streckung in einzelnen Amphiboliten, schwache Kataklastenreste in den Leptiten, die allerdings durch das kristalloblastische Gewebe der Endkristallisationsphase bis auf Spuren verheilt sind. Die Endkristallisationsphase hat insbesondere die präkristallinen Falten in Form der „polygonalen Glimmerbögen“ SANDER's abgebildet. (Das S. 94 gegebene Bild eines solchen Glimmerbogens zeigt sehr ähnliche Verhältnisse, wie Referent oben angedeutet hat. Unter anderem treten neben den zur Faltungskurve tangentiell gestellten Biotittafeln auch hier solche auf, welche in ihrer Lage der Symmetrielinie der Falte angenähert sind. Auch die Überspitzung des Bogens am Scharnier ist zu bemerken.)

ERDMANNSDÖRFER kommt zu der Auffassung, daß die endgültige Kristallisation in diesen Gesteinen unter statischen Druckverhältnissen vor sich gegangen ist und zu einer passiven Abbildung der älteren Textur geführt hat. ERDMANNSDÖRFER möchte überhaupt schärfer zwischen statischer und kinetischer Metamorphose scheiden und die von ihm untersuchten Gesteine zur ersteren rechnen. Statische Metamorphose würde auch in manchen finnischen Gesteinen anzunehmen sein, welche SANDER beschrieben hat (23).

Für ERDMANNSDÖRFER's Auffassung sprechen übrigens auch die Verbandverhältnisse und die Beschaffenheit des die kristallinen Schiefer intrusiv unterlagernden Prna-Dagh-Granites. Hier fehlt eine richtige Gneisfacies des Intrusivgesteins. Auftretende Mylonitbildung ist jüngerem Datums. Im Kara-Bair-Stock sind zwar echte granitische Augengneise neben körnigen granitodioritischen Gesteinen vorhanden. Doch scheinen diese Kara-Bair-Gneise ältere Bildungen zu sein (11, 12, 13).

3. Porphyroblasten, Einschlußwirbel.

Der Name Porphyroblasten wurde eingeführt zur Bezeichnung von Kristallen in kristallinen Schiefen, die im festen, wenn auch durch die Einwirkungen der Metamorphose nachgebenden Gestein zu bedeutender Größe heranwachsen und dadurch in Gegensatz geraten

zu den übrigen Gemengteilen des Gesteins, welche das Grundgewebe bilden. Die charakteristischen Merkmale sind in der öfter erwähnten Abhandlung im 75. Bd. der Wiener Denkschriften aufgeführt und die Unterschiede gegenüber Einsprenglingen porphyrischer Erstarrungsgesteine hervorgehoben. Porphyroblasten bilden solche Gemengteile, welche in dem früheren Stadium des Gesteins nicht vorhanden waren. SANDER bezeichnet als Holoblasten Gemengteile, welche so wie die Porphyroblasten entstanden sind ohne an Größe über das sonstige Gesteinsgewebe hervorzuragen.

In der deutschen Literatur ist der Name Porphyroblast viel gebraucht worden, manchmal auch in einer etwas laxeren Weise zur Bezeichnung von größeren Kristallen in kristallinen Schiefen überhaupt, was nicht zu empfehlen ist.

In der amerikanischen Literatur heißen Porphyroblasten *idiomorphic* oder *porphyritic crystals*. C. V. LEITH (16, S. 90) sagt, daß sie durch Rekristallisation entstehen, nachdem die fließende Gesteinsumformung (*rock flowage*) aufgehört hat. Nach unserer Vorstellung ist das durchaus unrichtig. Porphyroblasten entstehen und wachsen während der Kristalloblastese, während der mechanischen Deformation des Gesteins. Dafür liegen seit einiger Zeit beweisende Beobachtungen von W. SCHMIDT vor (34).

Wenn zunächst von theoretischen Auseinandersetzungen in der Einleitung dieser Arbeit abgesehen wird, so ist als tatsächlich Beobachtetes festzustellen: In verschiedenen, der Gruppe der Glimmerschiefer bis Phyllit zugehörigen Gesteinen finden sich Porphyroblasten von Granat oder Albit mit Einschlüssen, die dem Grundgewebe des Gesteins entstammen und eine Anordnung erkennen lassen, die in den äußersten Partien des Porphyroblasten der Parallelstruktur des Schiefergesteins entspricht. Im Inneren der Porphyroblasten, setzen aber die Reihen der Einschlüsse nicht gerade durch, sondern sind S-förmig gekrümmt. Diese Erscheinung ist im Schriff senkrecht zur Schieferung zu sehen; sind mehrere Porphyroblasten im Schriff vorhanden, so hat die S-förmige Krümmung in allen denselben Sinn und denselben Betrag. Die Figur 2 (S. 196) zeigt die Erscheinung vollkommener als die der SCHMIDT'schen Arbeit beigegebenen Tafeln. Sie ist gezeichnet nach einem Schriff aus der von L. HEZNER herausgegebenen Sammlung von Dünnschliffen kristalliner Schiefer nach GRUBENMANN's Buch (VOIGT und HOCHGESANG). Granatphyllit Airolo Nr. 27. In Dr. W. B. GISOLF, *Petrographie van Midden Celebes, Midden Celebes Expeditie*, E. C. Abendanon, Leiden 1917. Deel III, Taf. XX sind sehr gute Beispiele von Granat mit solchen Einschlußwirbeln abgebildet.

Dieser Einschlußwirbel erklärt sich in einfachster Weise durch eine wälzende Bewegung des wachsenden Porphyroblasten infolge

einer gleitenden Differentialbewegung der Gesteinslagen parallel zur Schieferungsebene. Bestimmt man den Winkel, welchen die Tangente an den innersten, den Umkehrpunkt enthaltenden Teil der Kurve (*si*) mit der äußeren Schieferungsrichtung des Gesteins einschließt (*se*), so läßt sich aus diesem Winkel (Wälzungswinkel) bei stetigem Übergang der inneren in die äußere Schieferungslage der Sinn und die Größe der Differentialverschiebung bestimmen, die zwei voneinander um die Längeneinheit abstehende Gleitflächen erfahren haben:

$$ds/dy = \frac{\alpha \pi}{180}.$$

Im abgebildeten Beispiel ist der Wälzungswinkel $\alpha = 320^\circ$ die Größe der Differentialbewegung $ds/dy = 5,6$.

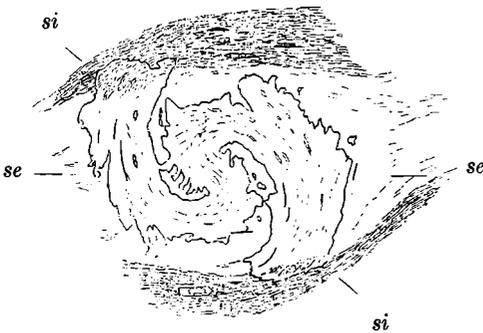


Fig. 2.

Porphyroblast von Granat mit Einschlußwirbel. Granatphyllit von Airolo, Nr. 27 der Sammlung von Dünnschliffen kristalliner Schiefer, beschrieben von LAURA HEZNER, herausgegeben von VOIGT u. HOCHGESANG. Schliff \perp zur Schieferung, Durchmesser des Granatkristalls 3 mm. Die im Zentrum des Kristalls erhaltene Parallelstruktur, markiert durch kleine Quarzkörnchen und Graphitfitter (*si* SANDER), bildet mit der

Parallelstruktur des Gesteins (*se* SANDER), in die sie in stetiger Kurve übergeht, einen Winkel von ca. 320° . Die Größe der Schiebung (hangendes nach links, liegendes nach rechts) beträgt $\frac{320^\circ \cdot r}{180} = 5,58$, der größte bis jetzt beobachtete Betrag. Das Grundgewebe des Schiefers besteht aus feinschuppigem Muscovit, Quarzkörnern, die lagenweise vorherrschen, nicht ganz wenig poikiloblastischem Oligoklas. Untergeordnet kleine Biolithschuppen, Turmalinsäulchen (links unten), Rutil (rechts oben), dünne Tafeln von Eisenglanz, die im Granat eingeschlossen stetig gekrümmt sind. Auch Disthen und Staurolith sind akzessorisch vorhanden, fein verteilter Graphitstaub. Die weißgelassenen Stellen der Zeichnung bestehen aus granoblastischem Quarz; sie entsprechen einer Quarzlage, welche das Präparat parallel der Schieferung durchzieht und im Bereich des Granats zu einer Wirbelfalte zusammengerollt ist. Wo der Granat die Schieferlage berührt, erscheint er etwas trüb, wie es scheint infolge sekundärer Chloritisierung.

Da der Durchmesser des Kornes 3 mm hat (*dy*), so ist die Verschiebung der beiden das Granatkorn tangierenden Schieferlagen gegeneinander $ds = 16,8$ mm. Die Summierung einer solchen Differentialbewegung über die ganze Mächtigkeit der Schieferlage gibt schon ganz beträchtliche Verschiebungen des Dachs gegen das Liegende, die tektonisch d. h. bei Deutung eines Profils sehr wohl ins Gewicht

fallen. Angenommen eine solche Schiebung beherrsche eine Schieferlage von 100 m Mächtigkeit, so würde das Dach gegen die Unterlage um 560 m verschoben sein.

Die Rechnung basiert auf der Annahme, daß der Porphyroblast so exakt zwischen den Schieferblättern abrollt, wie die Laufkugel eines Kugellagers zwischen den Laufringen. Das ist gewiß nicht der Fall; der Porphyroblast, welcher mit seiner ganzen Oberfläche mit dem umschließenden Gestein — allerdings in einer durch die Metamorphose „mobilisierten“ Weise — verwachsen ist, dürfte doch merklich gebremst werden; die errechnete Größe der Differentialbewegung wird also nur einem Minimalwert entsprechen.

SCHMIDT unterscheidet folgende Fälle: 1. Die inneren Einschlußzüge (*si*) sind geradlinig und reichen bis an den Umfang des Kristalls und gehen dort unstetig in die Schieferungslinien des Gesteins über (*se*). Dieser Fall kommt nicht häufig vor.

2) *se* geht stetig in das S-förmig gekrümmte *si* über und die Gleitflächen des Gesteins werden durch den Porphyroblasten nicht gestört. Im Laufe des Wachsens tritt also die Oberfläche des Porphyroblasten mit stets weiter entfernten Gleitflächen in Berührung.

3) *se* geht stetig in *si* über wie bei 2, aber die Schieferungsflächen *se* werden durch den wachsenden Porphyroblasten auseinandergedrängt. Dann würde derselbe mit demselben Paar von Gleitflächen in Berührung bleiben; die Differentialbewegung bliebe im Laufe des Wachsens gleich, der wachsende Kristall würde mit abnehmender Winkelgeschwindigkeit folgen.

Diese Unterscheidungen SCHMIDT's sind theoretisch wohl gerechtfertigt. In der Tat dürfte ihnen keine sehr große Bedeutung zukommen, da sie von der Fiktion ausgehen, Porphyroblast und Nebengestein verhielten sich mechanisch wie Laufkugel und Laufrinne eines Kugellagers, während in der Tat sowohl Porphyroblast als Schieferlagen sich fortwährend verändern und durch die mechanische Verschiedenheit des festeren Porphyroblasten und des nachgiebigeren Schiefergesteins ein Verhalten zustande kommt, dem gegenüber das mechanische Bild von Laufkugel und Rinne nur den idealen nie erreichten Grenzfall darstellt.

Von größerer Wichtigkeit ist die tatsächliche Beobachtung, daß die Kurve von *si* öfter winklige Unstetigkeiten darbietet. SCHMIDT erörtert, daß die S-förmige Kurve von *si* eine Funktion aus Wachstumsgeschwindigkeit und Winkelgeschwindigkeit des Kristalls, letztere wieder eine Funktion der Geschwindigkeit der Differentialbewegung darstellt. Jede unstetige Änderung eines dieser beiden Faktoren muß zu Knickungsstellen im Kurvenzuge Anlaß geben. SCHMIDT hat nun in der Tat in Schliften von granatführendem Schiefergneis vom Roßkar im obersten Zemmgrund (Greinerzunge im Zillertaler

Zentralgneis) in Porphyroblasten von Granat und in einem Sericit-Quarzit von der Moharscharte (Tektonische Grenzfacies zwischen der südlichen Schieferhülle des Sonnblickgneises und der Radstätter Decke der Moharspitze) im Albit solche Unstetigkeiten nachgewiesen, aus denen er eine ganze Entwicklungsgeschichte der Porphyroblasten in mehreren unterscheidbaren Phasen ableitet.

W. SCHMIDT's Nachweis von Bewegungsspuren in Porphyroblasten ist, abgesehen von dem Interesse, das in der sachgemäßen Deutung der Struktur an sich liegt, nach mehrfacher Hinsicht von großer Bedeutung: erstens durch den Nachweis, daß bei der Entstehung der Parallelstruktur Differentialbewegung nach der Art einer einfachen Schiebung (rotational strain) beteiligt ist, zweitens durch den Nachweis, daß die Kristallisation und das Wachsen der Porphyroblasten nicht vor und nicht nach, sondern während der Differentialbewegung im Gestein stattfindet, daß also die Kristallisation der metamorphen Gesteine nicht nach Art einer Katastrophe, sondern durch allmähliche lang andauernde und zum Teil wenigstens stetige Veränderungen erfolge; drittens durch die Möglichkeit den Sinn der Differentialbewegungen im Gestein eindeutig festzulegen. Wenn die Orientierung des Schliffes gegen das Gebirge bekannt ist, können dadurch wichtige Erkenntnisse für die Deutung tektonischer Profile gewonnen werden. Ich komme auf diesen Gegenstand im Kapitel Gefügeregelung zurück.

Ähnlichen Bewegungsspuren in Porphyroblasten geht HELGE BACKLUND nach (1, S. 101—203 besonders S. 163 ff. Über Teilbewegung im festen Gestein). Sehr interessante Erscheinungen werden an Porphyroblasten von Staurolith und Granat beschrieben, die in einem vorwiegend aus Quarz und Biotit bestehenden Grundgewebe eingelagert sind. Die Bewegungsspuren sind äußerst kompliziert und offenbar haben solche Teilbewegungen zum Teil während des Wachsens stattgefunden. Die S förmige Anordnung der Einschlußzüge im Granat dürfte wohl auf die von SCHMIDT beschriebene wälzende Bewegung der Granatkristalle während des Wachsens zurückzuführen sein. An den Porphyroblasten von Staurolith bemerkt man teils gestreckt säulenförmige teils gedrungene Formen ohne daß sich aus Beschreibung und Bild eine Abhängigkeit der Gestalt von der Lage zur Parallelstruktur erkennen läßt. Die innere Verteilung der Einschlüsse läßt nach meinem Erachten Sanduhrstruktur erkennen; die Anwachspyramiden der Endflächen sind erfüllt, jene der Prismenflächen frei von Einschlüssen. BACKLUND glaubt zu erkennen, daß die Einschlußzüge im Staurolith und die Anordnung der Biotitlagen im anstoßenden Grundgewebe daraufhin deuten, daß die Staurolithe in den Faltungsachsen der Kleinfältelung entstanden seien („Die Staurolithe sind an die Scheitel der Mikrofaltungen gebunden“ l. c. S. 167). Ich möchte zu bedenken

geben, ob die dargestellten Strukturzüge nicht dadurch entstanden sein könnten, daß die wachsenden Staurolithkristalle durch ihre Unnachgiebigkeit eine besondere Ablenkung der Strebrichtungen im umgebenden Grundgewebe und dadurch die eigentümliche Anordnung der Biotitzüge veranlaßten. Daß die Teilbewegungen im Gefüge auch nach dem Heranwachsen der Porphyroblasten fort dauerten, bezeugen die in Bruchstücke zerlegten Kristalle und die in den Streckungshöfen zwischen ihnen ausgebildeten feinkörnigen Quarzgebilde. Solche Streckungshöfe schließen sich auch an die Granatkristalle an.

Auch das Auftreten von größeren Biotit-Idioblasten an den Scheiteln einzelner besonders steiler Falten wird von BACKLUND in dem Sinne gedeutet, daß die Entstehung des Porphyroblasten durch die Faltung gewissermaßen vorbereitet und begünstigt wurde. Könnte nicht auch hier die besondere Anordnung der Faltungszüge eher durch den Porphyroblast hervorgerufen sein?

Wichtig scheinen mir die ferneren Beobachtungen über Auftreten von Scherflächen, die die vorhandene Struktur durchschneiden und in dem staurolithführenden Glimmerschiefer Gleitfasern von Sillimannit hervorrufen. Noch weitere Bildungen dieser Form, bei denen Sericit und Chlorit als Neubildungen auftreten, scheinen schon mehr Diaphthorese anzudeuten.

Daß die Tracht der Porphyroblasten durch ihre Lage im Schiefergestein mitbedingt ist, wurde schon in der eingangs zitierten Arbeit hervorgehoben. In den prachtvollen Amphibolgarbenschiefern der Greinerzunge in dem Zillertaler-Venediger Granitgneiskern muß jedem Beobachter auffallen, daß jene Hornblendestrahlen, welche in der Schieferungsebene liegen, lang und schlank sind im Vergleich zu den Hornblendekristallen, deren c-Achsen gegen die Schieferungsebene steil geneigt sind. In dieser Ebene ist öfter lineare Parallelstruktur, Streckung zu erkennen, und die Hornblendestrahlen, die in derselben Ebene liegen, erscheinen ganz gesetzmäßig um so stärker nach der c-Achse gestreckt, je kleiner der Winkel zwischen dieser und der allgemeinen Streckungsrichtung ist. Diese Aussage beruht allerdings nur auf dem Augenschein und wurde bisher nicht messend verfolgt. Doch hat A. MARCHET an Staurolithkristallen, die in einem deutlich geschieferten Biotitschiefer eingewachsen sind (Fundort „Bretagne“), durch genaue Trachtmessung den Einfluß der Lage zur Schieferungsebene ermittelt (17). Von zwei Kristallen der Kombination 110·010·001 liegt der eine mit der c- und b-Achse in der Schieferungsebene, der zweite mit der b-Achse parallel, mit der c-Achse unter 64° geneigt dazu. Bezieht man die gemessenen Zentralsdistanzen der Flächen auf eine dem Kristall volumgleiche Kugel, so erhält man als relative ZD. für die beiden Kristalle

	001	110	010
I	1,70	0,49	1,03
II	1,30	0,55	1,01

also ziemlich verschiedene Werte. Kristall I erscheint schlanker, II kürzer und dicker.

Bezieht man die gemessenen ZD. statt auf eine volumgleiche Kugel auf ein volumgleiches Rotationsellipsoid, indem man berücksichtigt, daß abgesehen von der spezifischen Wachstumsgeschwindigkeit der Kristallflächen das Wachsen in der Schieferungsebene rascher erfolgt als senkrecht zu derselben, so ergeben sich als korrigierte relative ZD.

	001	110	010
I	1,52	0,59	0,92
II	1,51	0,59	0,90

also sehr nahe übereinstimmende Zahlen. Dabei wurde die Abplattung des Bezugsellipsoides aus den ZD. der Flächen 001 der beiden Kristalle berechnet und die gemessenen ZD. der Flächen beider Kristalle durch die ihren Normalen entsprechenden Radienvektoren des Rotationsellipsoides dividiert.

A. MARCHET konnte durch analoge Behandlung auch die auffallende Erscheinung erklären, daß die Teilkristalle desselben Staurolithzwillings oft recht merkliche Trachtunterschiede darbieten. Die Rechnungen, die auf demselben Prinzip beruhen, sind durch die mitwirkende Zwillingsverzerrung kompliziert und müssen im Original nachgelesen werden. In manchen Fällen lassen sich die Gestaltunterschiede wie im vorigen Fall durch ein abgeplattetes Bezugsellipsoid aufklären, in anderen nötigte die Ausbildung der lose vorliegenden Kristalle zur Annahme einer Streckung des Muttergesteins und daher zur Annahme eines gestreckten Rotationsellipsoides als Bezugsfläche.

4. Gefügeregelung.

Unter Gefügeregelung wird die Erscheinung verstanden, daß die Individuen gewisser Minerale in durchbewegten Gesteinen, d. h. also Gesteinen, in denen Differentialbewegungen stattgefunden haben, eine bestimmte durch eine kristallographische Regel charakterisierte Stellung gegen die Schieferungsebene (oder die Streckungsrichtung) des Gesteins einnehmen.

Solche Gefügeregelungen sind für die glimmerartigen Minerale (Glimmer, Chlorite, Talk) längst bekannt. Die Fläche vollkommener Spaltbarkeit (001) liegt mehr oder weniger in den meisten Individuen des Gesteins parallel, welches eben durch diese Anordnung eine gute

Spaltbarkeit nach einer Richtung erhält. Ebenso ist die parallele Anordnung der Hornblendesäulchen parallel zur Schieferungsfläche von Amphiboliten eine längst beschriebene Sache.

Beim Gletschereis ist bekannt, daß in den stark durchbewegten Teilen am Grunde und an den Seitenwänden der Gletscherzungen die kristallographische Hauptachse der Eiskörner sich annähernd normal zur Unterlage, die Translationsfläche (0001) derselben annähernd parallel zu ihr einstellt.

Am Quarz hat zuerst B. TRENER bei Untersuchung von Quarziten im Tonaletal in Tirol die Beobachtung gemacht, daß sich die Hauptachsen der Quarzkörner mit großer Annäherung senkrecht zur Schieferungsebene einstellen. Ein Längsschliff normaler Dünne wird nach Einschaltung eines Gipsblättchens Rot I im Gesichtsfeld des Mikroskops zwischen gekreuzten Nicols blau, wenn α des Gipsblättchens in der Diagonalstellung mit der Schieferungsrichtung übereinstimmt. SANDER hat diese Gefügeregelung weiter verfolgt. In vielen tektonisch durchbewegten quarzhaltigen Gesteinen ist sie vorhanden. Vor allem in solchen, welche durch ihre sonstige Beschaffenheit die Wirkung von Pressung erkennen lassen. Bekanntlich ist der Quarz in dieser Beziehung ein sehr empfindliches Mineral. Eine sehr verbreitete Erscheinung ist der Zerfall in längliche Streifen, die ungefähr der Hauptachse parallel gehen (somit subparallel zu γ' , doch sind Abweichungen bis zu 30° beobachtet). Dieser stenglige Zerfall kann sich stufenweise von undulöser Auslöschung bis zum Auftreten von Rupturen steigern. Senkrecht zu dieser Streifung beobachtet man nicht selten und zwar besonders in stark kataklastisch mitgenommenen Gesteinen, viel seltener in Gesteinen mit Kristallisationsschieferung eine Zeichnung durch feine, bisweilen etwas gewellte Linien, die subparallel zur Auslöschungsrichtung α' verlaufen. Sie treten oft in großer Zahl parallel angeordnet auf, sind auch ohne polarisiertes Licht bei stärkerer Abblendung sichtbar und verhalten sich so, als ob sie schwächere Lichtbrechung besäßen als die Hauptmasse. A. BÖHM hat diese Streifung in den Quarzen des Wechselneises zuerst beschrieben.¹⁾ Bei Untersuchung mit starken Objektiven läßt sich manchmal erkennen, daß die Streifen winzige Hohlräume (Gasporen? Flüssigkeitseinschlüsse?) enthalten, die bis zu submikroskopischer Kleinheit herabsinken.²⁾

SANDER fand diese Gefügeregelung in hellgrünen Quarzserizitgrauwacken von Hintertux, an Arkosen aus dem Schmirntal, Quarzit

¹⁾ Über die Gesteine des Wechsels. Min.-petr. Mitteil. 1883, Bd. 5, S. 204. Siehe auch F. BECKE, Petrographische Studien am Tonalit der Rieserferner. Min.-petr. Mitteil. 1892, Bd. 13, S. 447.

²⁾ SANDER gegenüber habe ich einmal mündlich geäußert, die BÖHM'sche Streifung möchte ausgeheilten Zerrklüften entsprechen. Diese Deutung ist nicht aufrecht zu halten; eher möchten es Translationsspuren sein. Siehe (20) S. 293.

vom Vikartal (in einem von Kataklyse freien Gestein von kristalloblastischem Gefüge), in porphyroiden Arkosen aus der unteren Schieferhülle im Valsertal, an Gneisquarzit aus dem Seiterbergertal am Jaufen bei Sterzing. Ein etwas komplizierter Fall wird von einem Augengneis im Graben zwischen Flans und Tschöfs N von Sterzing beschrieben, der sich als ein Musterbeispiel von „kataklastischer Fluidalstruktur“ erweist. Der Quarz des Gneises ist zu Quarzsträhnen ausgezogen. In diesen herrscht im Längsschliff partienweis die übliche Orientierung $c \perp$ zur Hauptschieferung; andere Partien derselben Quarzsträhne zeigen aber im Längsschliff Achsenaustritt, haben also die Hauptachse parallel zur Schieferungsebene. Im Querschliff zeigt kein Quarzdurchschnitt Achsenaustritt, vielmehr z. T. Hauptachse senkrecht, z. T. parallel der Schieferungsebene. Danach scheint die hier herrschende Regelung so zu lauten: Die Hauptachse stellt sich senkrecht zur Richtung leichtester Ausweichungen. Die für alle Fälle gültige Regel würde sonach lauten, „daß der Quarz seine kristallographische Hauptachse parallel zum Druck- und normal zum Zugmaximum stellt“ (22, S. 259). Auch an Granulit von Sachsen und Hällefinten aus Schweden hat SANDER die Quarzgefügeregel nachgewiesen. Über die Art, wie sie zustandekommt, äußert sich SANDER zurückhaltend, doch spricht er gelegentlich von einer mechanisch erzwungenen Gefügeregelung. Vielleicht darf man hier am ersten an einen Vorgang denken, wie bei der Kaltreckung von Metallen. Bisher ist allerdings so viel mir bekannt eine experimentelle Erzeugung von Translation oder Gleitung beim Quarz noch nicht gelungen. Wenn sie in kristalloblastisch gefügten Gesteinen vorkommt, nimmt SANDER an, daß die Regelung in einer vorangehenden Phase mechanisch erzeugt und die Deformationsspuren durch nachfolgende Kristalloblastese verwischt werden unter Beibehaltung der Orientierung c senkrecht zur Schieferung.

Nach eigenen Erfahrungen möchte ich dieser Auffassung zustimmen und noch hinzufügen, daß Gefügeregelung beim Quarz ausbleiben scheint, wenn die Quarzkörner in nachgehender Umgebung liegen, wenn beispielsweise einzelne Quarze in Glimmerschuppen oder in Calcitaggregate eingebettet sind, wogegen Lagerung hart gegen hart die Regelung zu befördern scheint.

Der Grad (Zahl der orientierten Körner) und die Genauigkeit der Regelung (Winkelbereich der Hauptachsen bei den orientierten) ist Schwankungen unterworfen, welche W. SCHMIDT in einer interessanten Studie näher untersucht hat (34).

Die Methode ist folgende: Er bestimmt an möglichst vielen Quarzdurchschnitten eines Dünnschliffs die Lage der Auslöschungsrichtung α' . Die Azimute von α' werden, in Gruppen von 5 zu 5° zusammen-

gefaßt, statistisch bearbeitet. Die auf jede Gruppe entfallende Anzahl der Quarzschnitte in Prozenten der ganzen vermessenen Anzahl ausgedrückt liefert die Charakteristik des Gefüges.

Zur Darstellung wird ein polares Koordinatensystem gewählt. Im Azimut der Mitte jeder Gruppe wird die Zahl der entfallenden Durchschnitte durch eine Länge dargestellt. Die 0-Richtung entspricht der Schieferungsrichtung. SCHMIDT gibt nicht an, wie er diese bestimmte, doch ist wohl anzunehmen, daß die mittlere Richtung der Glimmerdurchschnitte dafür maßgebend war.

Der Natur der Sache nach ist jedes solche Diagramm zentrisch symmetrisch. Die Prozentzahlen werden in Richtung und Gegenrichtung aufgetragen. Ein Einheitskreis gibt an, wieviel Prozent auf jede Gruppe bei unregelmäßigem Gefüge nach dem Gesetz der Wahrscheinlichkeit entfallen würden. Bei Gruppen von 5 Grad sind dies $100 \times 5 : 180 = 2,7\%$. Die Figuren SCHMIDT's haben den Maßstab $\frac{1}{3} \text{ cm} = 1\%$.

Da das Gesetz der großen Zahlen zur Geltung kommen soll, darf die Zahl der Beobachtungen nicht klein sein. SCHMIDT gibt die Zahl 500 als notwendig an für Gruppen zu 5°. Bei gelegentlicher Nachprüfung fand ich, daß man selbst bei 10°-Gruppen nicht unter 100 Beobachtungen heruntergehen darf.

SCHMIDT erörtert ausführlich verschiedene Fehlerquellen, die berücksichtigt und vermieden werden müssen: Ablesefehler, Verwechslung von γ' und α' , Auswahl der Durchschnitte. Bezüglich dieser ist das Original nachzusehen.

In den besten Fällen zeigen die Diagramme außer der durch ihr Wesen geforderten zentrischen Symmetrie eine recht gut ausgesprochene bilaterale Symmetrie gegen die Schieferung. Zwar zeigen sie recht verschiedene Gestalt, aber man erhält doch den Eindruck, daß diese Formen durch ein einheitliches Gesetz beherrscht werden. SCHMIDT sucht nach einer mathematischen Formulierung. Sie muß der Vorstellung entsprechen, daß durch irgendeinen Einfluß eine Richtung der Hauptachse von Quarz begünstigt wird. Reibung, Einfluß benachbarter Kristalle und ähnliche Widerstände werden verhindern, daß alle Quarze die begünstigte Richtung erreichen. Von vornherein werden diese Widerstände nach der einen und anderen Seite von der begünstigten Richtung gleich wahrscheinlich sein. Dadurch ergibt sich eine gewisse Ähnlichkeit mit der Verteilung der $+$ und $-$ Fehler um den Mittelwert bei der Messung einer Größe, wofür GAUSS eine Formel gegeben hat.

Die Formel lautet in ihrer dem vorliegenden Problem angepaßten Gestalt:

$$y = \frac{h}{\sqrt{\pi}} \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} e^{-h^2\pi^2(h+x)^2}$$

Hierbei ist x das Azimut von der bevorzugten Richtung in Bruchteilen von 180° ausgedrückt, n bedeutet alle ganzen Zahlen von $-\infty$ bis $+\infty$, doch ist es selten nötig über $n = \pm 2$ hinauszugehen. y liefert die Zahl der in dem betreffenden Azimut orientierten Quarzkörner. Um die theoretischen Werte y mit dem empirischen Diagramm zu vergleichen, ist es nur noch nötig, die y in Prozente der innerhalb 180° auftretenden Gesamtzahl umzurechnen.

Der in der Formel vorkommende Koeffizient h ist das Maß für die Genauigkeit, mit der die Quarzkörner in die bevorzugte Stellung eingeregelt sind.

Durch punktweise Konstruktion erhielt SCHMIDT die theoretischen Kurven für Werte von $h = 1,7$ bis $h = 0,6$. Sie haben für größere Werte von h die Gestalt eines gestreckten Achters und gehen für abnehmendes h durch immer weniger gestreckte Biskuitformen in ein Oval über. Auf durchscheinendes Papier gedruckt sind 11 derartige Kurven der Arbeit beigegeben. Legt man diese Kurven über ein im gleichen Maßstab gezeichnetes empirisches Diagramm, so läßt sich die am besten passende theoretische Kurve ausfindig machen. Für den Quarzit von Tristenkar paßt die Kurve $h = 1,5$, die in der punktierten Linie in Fig. 3 eingetragen ist. Die anderen von SCHMIDT ermittelten Diagramme führen auf Werte von h zwischen 1,5 und 0,8.

Physikalisch genommen erblickt W. SCHMIDT in h ein Maß für die Leichtigkeit, mit der sich Quarz der Regel entsprechend einstellt, für die „Mobilisation“ des Quarzes, eine Funktion von Anreiz zur Orientierung und Widerstand gegen dieselbe. Der Ausdruck „Mobilisation“ des Gefüges kommt in ähnlicher Bedeutung auch bei SANDER öfter vor.

W. SCHMIDT hat Dünnschliffe verschiedener Sammlungen und verschiedener Gesteine in dieser Weise untersucht. Er gibt Beispiele von Quarziten, Biotitschiefer der unteren Schieferhülle der hohen Tauern, aplitischem Granit, Biotit-Plagioklasgneis und porphyrischem Muscovitgranit aus dem Arbeitsgebiet von A. SPITZ im Engadin, Kalkglimmerschiefer von Val Canaria und Granatglimmerschiefer von St. Gotthard aus der Sammlung kristalliner Schiefer beschrieben von L. HEZNER. Meist zeigt das Diagramm gut ausgesprochene Disymmetrie, ein scharf ausgesprochenes Maximum in der Richtung der Schieferung, ein in manchen Fällen bis auf 0 herabsinkendes Minimum senkrecht dazu. Das stimmt also mit der TRENER'schen Regel: Hauptachse senkrecht zur Schieferung. Vgl. Fig. 3.

Der porphyrische Muscovitgranit zeigt das Maximum in der Schieferung zerlappt, begleitet von Lappen in unsymmetrischer Verteilung, die Nebenmaxima andeuten. SCHMIDT findet die Erklärung in der Annahme, daß das Gestein ursprünglich große, verschieden orientierte Quarze enthalten hat; die Abkömmlinge dieser Individuen,

ausgereckt zu langen Kornfasern mit stark undulöser Auslöschung der einzelnen Teilkörner, bilden jeweils eine besondere Gruppe, die in den Lappen des Diagramms zum Vorschein kommt.

Ein sonderbares Verhalten zeigt Kalkglimmerschiefer von Val Canaria aus der Sammlung GRUBENMANN-HEZNER Nr. 81. Muscovit bildet zusammenhängende Lagen, welche gesonderte Lagen von Quarz und Kalkspat einschließen. Eine besondere schmale Quarzschicht zeigt nach dem Diagramm überhaupt keine Gefügeregelung. Die übrigen Quarzlagen zeigen sonderbarerweise ein Minimum in der Schieferung, ein stark gelapptes Maximum unter ca. 65° gegen die Schieferung.

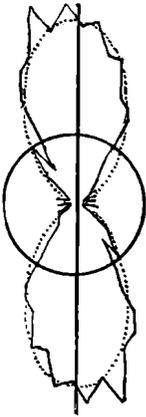


Fig. 3.



Fig. 4.

Fig. 3. Diagramm der Quarzgefügeregelung im Quarzit von Tristenkaar, Schieferhülle von Tauern Zentralgneis. Ausgezogen empirisches Diagramm. Punktiert theoretische Kurve für $h = 1,5$. Bilateralsymmetrisch gegen die Schieferungsrichtung (vertikale Linie).

Fig. 4. Diagramm der Gefügeregelung von Kalkspat, Kalkglimmerschiefer von Val Canaria, Tessin. Obere Hälfte ausgezogen, Beobachtung von W. SCHMIDT, untere Hälfte punktiert, Beobachtung von F. BECKE. Etwas antimetrisch gegen die Schieferungslinie. Einsattlung des Maximums in der Richtung der Schieferung.

In diesem Gestein wurde auch der Kalkspat auf seine Orientierung geprüft. Dabei wurde die Orientierung von $\gamma' = \omega$ festgestellt um den unmittelbaren Vergleich mit Quarz zu ermöglichen. Beim Kalkspat erfordert dies, da das bequeme Hilfsmittel des Gipsblättchens Rot I versagt, entweder Vergleich der Lichtbrechungsunterschiede oder konoskopische Ermittlung der Lage der optischen Achse. Infolge dessen war die Zahl der Einzelbeobachtungen zu gering für 5° Gruppen. Es mußten 10° Gruppen gebildet werden; dafür wurde der Maßstab des Diagramms auf die Hälfte verkleinert, so daß die Figur mit dem Quarzdiagramm vergleichbar wurde. Das Kalkspatdiagramm erscheint merklich antimetrisch, das Maximum ungefähr in der Schieferung

(also Hauptachse senkrecht zur Schieferung wie in der Regel beim Quarz), aber etwas gedreht um $15-20^\circ$ und mit einer Einkerbung, die ziemlich genau in die Schieferungsrichtung fällt.

Die Kalkspatregelung habe ich nachgeprüft an einem Längsschliff desselben Gesteins Nr. 81 der Sammlung GRUBENMANN-HEZNER im Besitz des Wiener Instituts.

Die Fig. 4 (S. 205) zeigt oben ausgezogen das Diagramm von SCHMIDT, unten punktiert das Ergebnis meiner Beobachtung (100 Einzelbeobachtungen).

Mein Diagramm ist jenem SCHMIDT's ziemlich ähnlich; der Mangel an bilateraler Symmetrie ist weniger deutlich ausgesprochen. Die Kerbe des Maximums in der Richtung der Schieferung ist ebenfalls vorhanden und kräftiger als im SCHMIDT'schen Diagramm. Ich vermute, daß dieser Kerbe eine Bedeutung zukommt. Es ist nämlich auffallend, daß bei vielen Kalkspatkörnern ein System von Gleitwillingslamellen nach (01 $\bar{1}$ 2) der Schieferung parallel oder nahezu parallel geht. Wenn man annimmt, daß die eigentliche Gefügeregel für Kalkspat lautet: eine Gleitrichtung nach (01 $\bar{1}$ 2) parallel der Schieferung, so ist zu erwarten, daß bei Beobachtung der Auslöschungsrichtung $\omega = \gamma'$ zwei Maxima unter zwei zur Schieferung symmetrisch gelegenen Winkeln auftreten, für welche der Winkel $0001 \cdot 01\bar{1}2 = 26^\circ 15'$ eine Art Grenzwert darstellt. Mit dieser Auffassung würde eine Übereinstimmung mit dem Gletschereis und mit dem Verhalten gezogener Metalldrähte erreicht, in welchen Körpern die Regelung darin besteht, daß Translations- und Gleitflächen sich in die Parallelstruktur einstellen. An geschieferten Kalkmarmoren habe ich die Erscheinung öfter beobachtet, daß Gleitwillingslamellen vorzugsweise der Schieferungsfläche folgen.

Das letzte Beispiel, das W. SCHMIDT mitteilt, betrifft einen Granatglimmerschiefer von St. Gotthard Nr. 24 der Sammlung GRUBENMANN-HEZNER. Hier wurde das statistische Diagramm der großen Biotitporphyroblasten nach den Spuren der Spaltflächen aufgenommen. Das Diagramm ist ausgesprochen antimetrisch, mit einem sehr deutlichen Maximum unter ca. 50° gegen die Schieferungsrichtung.

Sehr berechtigt scheint mir die Auffassung SCHMIDT's, daß die Antimetrie mancher Diagramme bestens mit der Annahme harmoniere, daß die Schieferstruktur durch Schiebungen bewirkt sei, durch das, was die amerikanischen Autoren vor allem G. BECKER als rotational strain bezeichnen. Das würde vor allem auch für die Struktur gelten, die SEDERHOLM als Netzstruktur benannt hat und die jüngst von HOLMQUIST genauer erörtert wurde. Geradezu (14) beweisend für diese Auffassung sind W. SCHMIDT's eigene schöne Beobachtungen über Bewegungsspuren in Porphyroblasten kristalliner Schiefer (siehe Kapitel Porphyroblasten).

Alle diese Studien stehen noch sehr am Anfang ihrer Entwicklung. SCHMIDT hat gezeigt, daß statistische Behandlung der Gefügeregeln möglich ist. Die bis jetzt veröffentlichten Messungen ermitteln nur die optische Orientierung der Schnittellipse der optischen Indikatrix in einem ausgewählten Dünnschliff. Damit ist die Lage des Kristalls im Raume noch nicht festgelegt. Sie ließe sich ohne zu große Schwierigkeit durchführen. Man brauchte nur $\omega - \varepsilon'$ mit dem Meßkeil zu messen. Bei Sichtbarkeit der optischen Achse im Mikroskop ließen sich auch konoskopische Methoden anwenden. Mit FEDOROW's Universalmethode ließe sich die Aufgabe unter allen Umständen lösen. Freilich würde der Zeitaufwand bedenklich wachsen. W. SCHMIDT gibt als Zeitaufwand für 500 Messungen der Auslöschungsrichtung an Quarzdurchschnitten 3 Stunden an. Die Anwendung der angeführten optischen Messungen würde sicher das 10- bis 20fache an Zeit erfordern. Das gilt für die leichteste Aufgabe — Orientierung der Hauptachse eines einachsigen Kristalls.

Was für Komplikationen bei zweiachsigen Kristallen eintreten, zeigt SANDER (32). Auch hier dürfte durch geschickte Kombination von orthoskopischen, konoskopischen Beobachtungen und Messung von $\gamma' - \alpha'$ die Orientierung zu ermitteln sein. Mit FEDOROW's Universalistisch ist sie sicher lösbar. Allein der Zeitaufwand wird hier noch größer sein, und es muß die Frage entstehen ob er nicht zu groß wird im Vergleich mit dem erreichbaren Resultat.

Aber noch in anderer Hinsicht sind derartige Untersuchungen bisher unbefriedigend, was übrigens SCHMIDT selbst hervorhebt. Man müßte verlangen, daß der untersuchte Schliff am geologischen Objekt orientiert sei. Namentlich tritt diese Forderung auf, wenn am statistischen Diagramm Antimetrie sich herausstellt. Will man die im Schliff konstatierte „Teilbewegung tektonisch summieren“, dann muß man sowohl wissen, wie das Handstück im Gebirge lag und auch genau kontrollieren, wie der Dünnschliff am Handstück orientiert ist. Dann ist es auch gar nicht gleichgültig welche Schlieffläche nach oben gekehrt ist. Dasselbe gilt bezüglich des Nachweises von Differentialbewegungen durch Einschlußwirbel in Porphyroblasten.

Dem aufnehmenden Geologen und dem in der Natur beobachtenden Petrographen erwachsen dadurch ganz neue Aufgaben. Ihre Bewältigung wird peinliche Sorgfalt schon bei der Aufsammlung des Materials erfordern und die größte Aufmerksamkeit bei der Herstellung der Schliffe. Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß man durch Beobachtungen der Art, wie sie nun W. SCHMIDT an Dünnschliffen ausgeführt hat, vom Mikroskop aus den Richtungssinn tektonisch bewirkter Teilbewegungen erforschen und in das Gebirgsprofil projizieren kann. Nehmen wir folgenden Fall: Von West nach Ost folgen aufeinander: Ein Gneisrücken, eine durchbewegte Schiefer-

lage, ein Gebirgsklotz von Kalk. Im Schiefer liegen Granatkörner und in dem von Süden betrachteten Querschliff seien Einschlußwirbel im Granat von der Gestalt eines S. Dann ist der Kalkklotz nach Westen auf den Gneis aufgeschoben. Oder die Einschlußwirbel haben die Lage eines ?; dann ist der Kalkklotz auf dem Schiefer vom Gneis nach Osten abgeglitten.

Soviel mir bekannt ist bisher nirgends der Versuch gemacht worden auf diese Weise das feinere Gefüge der metamorphen Gesteine mit der Tektonik in Zusammenhang zu bringen. Glück auf demjenigen, der eine solche Aufgabe in Angriff nimmt.

5. Kaltreckung und Warmreckung.

Diese aus der Metallurgie herübergenommenen Begriffe werden in neuerer Zeit öfter in der Beschreibung und Deutung metamorpher Gesteine angewendet. Ihre Einführung in das Gebiet der Petrographie geht, soviel mir bekannt, auf WALTER SCHMIDT zurück. In der Abhandlung: Mechanische Probleme der Gebirgsbildung (Mitt. der Geol. Ges. in Wien VIII. S. 62 1915) und in der Abhandlung: Über Kaltreckvorgänge (Jahrb. der Montanist. Hochschule Leoben 1923)¹⁾ hat er seine Ideengänge dargelegt. Zu diesen hat B. SANDER in einem Bericht in den Verhandl. der geolog. Reichsanstalt 1916 Nr. 2 Stellung genommen (33, 36, 27).

Werden Metalle unterhalb einer dem betreffenden Metall eigentümlichen Temperatur durch Hämmern, Pressen, Walzen, Ziehen durch ein Locheisen, einer Formänderung unterworfen, so tritt Erhöhung der Druckfestigkeit, der Elastizitätsgrenze, der Brinellhärte ein. Der Elastizitätsmodulus verändert sich wenig, die Ritzhärte gar nicht. Auch andere als die mechanischen Eigenschaften ändern sich: der elektrische Leitungswiderstand wächst, das spezifische Gewicht nimmt um ein geringes ab (infolge von Bildung hohler Kanäle durch Gleitwillingsbildung), die Reaktionsgeschwindigkeit gegenüber Lösungsmitteln steigt, das Metall wird chemisch „unedler“. Dies sind die Erscheinungen, die als Kaltreckung der Metalle bezeichnet werden. Erwärmung läßt diese Veränderungen zurückgehen und bei Überschreitung einer bestimmten Temperaturgrenze völlig verschwinden.

Die physikalischen Änderungen sind mit einer Veränderung des Gefüges verbunden. Die Kristallkörner des Metalls, von den Metallographen Kristalliten genannt, werden teils von Translationen, teils von Gleitwillingsbildung betroffen, dadurch in ihrer Gestalt verändert, der Deformation angepaßt. Häufig findet eine Gefügeregelung statt,

¹⁾ Hier auch ein ausführliches Verzeichnis der metallographischen Literatur.

indem die gereckten Kristallkörner eine bestimmte kristallographische Translations- oder Gleitrichtung in die günstigste Richtung zur aufgezungenen Formänderung einstellen. Dies wurde erst kürzlich an gezogenen Metalldrähten durch Aufnahme der Röntgenogramme nachgewiesen.¹⁾

Hartgezogene Metalldrähte von Wo, Fe, Mo mit Rhombendodekaedergitter stellen eine [110] Richtung in die Längsrichtung des Drahtes, so daß im Querschnitt durchwegs (110)-Flächen liegen. Die Metalle Cu, Pd, Al mit Oktaedergitter zeigen zweifache Orientierung, indem Richtungen [111] oder [100] in die Zugrichtung fallen, so daß die Einzelkristalle (111)-Flächen oder (100)-Flächen im Querschnitt zeigen.

Daß bei derartigen Deformationen keine merklichen Änderungen des Raumgitters stattfinden, zeigte P. SCHERRER durch Röntgenogramme nach dem Verfahren von DEBYE und SCHERRER, hergestellt durch Bestrahlung von harten (kaltgezogenen) und weichen (durch Erwärmen in den normalen Zustand zurückversetzten) Drähten von Kupfer-Gold- und Kupfer-Silber-Legierungen.²⁾

Durch diese Ergebnisse sind wohl die älteren Erklärungsversuche des Kaltreckens, wonach auf den Gleitflächen amorphe Lagen entstehen sollten (BEILBYE), oder neue kristalline Modifikationen angenommen wurden (ADAMS und JOHNSON) überholt. Durch die Erzeugung von Gleitflächen wird ein gewisses kleines Maß von Arbeit verbraucht, wird latent. Das Raumgitter wird nicht merklich verändert, wohl aber vollziehen sich in den Atomen selbst geringe Veränderungen, durch die das Atom ein wenig unedler d. h. zu chemischen Reaktionen geneigter wird.

Durch Erwärmung tritt Rekrystallisation ein, wodurch das Gefüge sich wieder jenem nähert, welches bei Erstarrung aus dem Schmelzfluß entsteht; damit gehen dann alle geänderten physikalischen Eigenschaften auf die Normalwerte zurück.

Erfolgt die mechanische Bearbeitung eines Metalls bei solchen höheren Temperaturen, so bleiben die Änderungen von Struktur und deren Folgeerscheinungen von vornherein aus (Schmieden, Warmrecken).

W. SCHMIDT sucht nun nach ähnlichen Erscheinungen bei den druckmetamorphen Gesteinen. Wenn ich seine Ansichten richtig verstehe, so identifiziert er „kaltgereckt“ mit solchen Strukturen metamorpher Gesteine, bei denen die vorgefallenen Teilbewegungen an mechanischen Verbiegungen, undulösen Auslöschungen, sichtbaren

¹⁾ M. POLANYI, Röntgenographische Bestimmungen von Kristallanordnungen, Naturwissenschaften 1922, Heft 16.

²⁾ G. TAMMAN, Lehrbuch der Metallographie 1923, 3. Aufl., S. 79.

Spuren von Translation und Gleitzwillingslamellierung der Gemengteile erkennbar sind; also jene Strukturen, welche ich in einer halb vergessenen Arbeit als anogen dynamometamorph bezeichnete, und welche SANDER nach seinem Schema (Min. petr. Mitt. Bd. 33, S. 105) nachkristalline stetige oder unstetige Korndeformation nennen würde.

Dagegen würden die Gesteine mit vollkommener Kristallisationschieferung als warmgereckt bezeichnet. (SANDER's Gesteine mit vor-kristalliner Deformation.)

Ich möchte nun meinen, daß zwischen Gesteinen mit mechanischen Deformationsspuren und kaltgereckten Metallen doch die sicher feststellbaren Analogien recht gering sind. Wer hat je nachgewiesen, daß Elastizitätsgrenze, Härte, Leitfähigkeit bei einem „kaltgereckten“ Quarzit verschieden sei von einem „warmgereckten“? Die Eigentümlichkeit der Kaltreckung ist doch bei den Metallen das Auftreten zahlreicher Translations- und Gleitrichtungen, worauf ihre längst bekannte „Geschmeidigkeit“ beruht, wie die alten Mineralogen seit WERNER, MOHS und BREITHAUPT diese Eigenschaft benannten. Davon haben doch die spröden Silikate kaum eine Spur. Ferner dürfte der Prozeß, den die Metallographen als Rekristallisation bezeichnen, und der sich wie es scheint bei den Metallen ohne Schmelzung, ohne vermittelndes Fluidum, lediglich unter dem Einfluß der Wärmebewegung vollzieht, — und vielleicht noch unter der Mitwirkung anderer Eigentümlichkeiten des Metallzustandes (freiere Bewegung der Elektronen von Atom zu Atom?) — bei den Silikaten und Karbonaten der Gesteine doch zumeist unter Mitwirkung von irgendwelchen Lösungsmitteln, fluiden Phasen zustande kommen. Kurz der Vergleich der Kalt- und Warmreckung der Metalle mit sichtlich mechanischdeformierten und kristallisationsschiefrigen Gesteinen scheint mir zwar recht lehrreich und interessant zu sein, aber keineswegs einladend zu einer Übertragung der Nomenklatur der Metallographie auf die metamorphen Gesteine.

Im weiteren polemisiert W. SCHMIDT in der Abhandlung über Kaltreckvorgänge gegen TAMMANN's Feststellung, daß bei der Kaltreckung keine merkliche Änderung des Raumbitters stattfindet. Auf die theoretischen Auseinandersetzungen einzugehen fehlt hier der Raum; im wesentlichen laufen die Ansichten SCHMIDT's darauf hinaus, daß er bei der Bewegung längs Translationsflächen neben den durch die Gitterkonstanten vorgeschriebenen rationalen Schritten auch irrationale Schiebungsstrecken für zulässig hält. Das sind aber Fragen, die sich nicht experimentell prüfen lassen, und die man wohl besser auf sich beruhen läßt.

Etwas bedenklich scheinen mir aber die Ausführungen über eine Erweiterung der Phasenregel. SCHMIDT verlangt, daß neben allseitigem Druck und Temperatur auch der Durchbewegung eine den Phasen-

bestand beherrschende Rolle zugeschrieben wird. Demnach würde die Phasenregel lauten $r \text{ max.} = n + 3$; bei festgehaltenem Druck und Temperatur würden für den Bereich der Kaltreckung zwei feste Phasen bestandfähig sein können. (r Zahl der Phasen, n Zahl der Komponenten). Ich meine, daß ein an und für sich richtiger Gedanke besser so ausgedrückt werden könnte: Bei der Durchbewegung ist es überhaupt nicht gestattet die Phasenregel anzuwenden, denn Voraussetzung der Phasenregel ist Gleichgewicht, und Durchbewegung ist Abwesenheit von Gleichgewicht. Die Idee von SCHMIDT ist schon mehrfach aufgetaucht und hat unter anderem auch in der lesenswerten Arbeit von BACKLUND über die Taimyrgesteine Ausdruck gefunden: daß die chemisch-physikalischen Prinzipien der (mineralogischen) Phasenlehre wie sie GOLDSCHMIDT an den Kontaktgesteinen des Kristianiagebietes entwickelt hat, und die NIGGLI und ESKOLA auf regional metamorphe Gesteine mehr oder weniger vollständig übertragen haben, nicht volle Anwendung finden können auf alle metamorphen Gesteine, da in ihnen, wie im vorliegenden Falle dargetan, ein allgemeines chemisches Gleichgewicht sich nicht eingestellt hat (1, S. 182).

6. Deformationsverglimmerung der Feldspate.

In einem gewissen Zusammenhang mit den theoretischen Erklärungsversuchen W. SCHMIDT's über Kaltreckung steht auch die Ansicht, welche B. SANDER in neuerer Zeit bezüglich der ganz richtigen und wichtigen Beobachtung aufgestellt hat, daß in durchbewegten Gesteinen die Umwandlung von Feldspaten in Glimmer vorzugsweise an den vorragenden von den Schieferungsflächen tangierten Ecken oder bei gebogenen Individuen an der Umbiegungsstelle einsetzt. (22, S. 224, 263. 32, IV, S. 206). Die Beobachtung ist unzweifelhaft richtig, sie findet sich in den Muscovitgleitflasern, welche in porphyrtartigen oder Augengranitgneisen die Feldspatknotten lidartig umziehen, allgemein verwirklicht. Daß an solchen mechanisch stark beanspruchten Stellen das Feldspatgitter zu chemischen Veränderungen geneigter also „unedler“ wird, kann keinem Zweifel unterliegen. Hier liegen auch offenbar am Feldspatkristall die durch RIECKE's Prinzip geforderten Lösungsstellen klar zutage.

Bedenklich erscheint mir der teleologische Einschlag sowohl bei SCHMIDT (36, S. 3) als bei SANDER (32, S. 207): „Die Serizitisierung stellt in solchen Fällen eine Erleichterung der zur Deformation korrelaten Differentialbewegung dar, durch Ausbildung eines Minerals mit leichter Translatierbarkeit an Stelle der ersten bei voraussichtlich geringer Änderung der Formel“. SANDER stellt sich vor „daß eine

mechanische Beanspruchung des Raumgitters, gehend bis zu dessen dauernder Deformation, welche eben mit der Bildung eines neuen Minerals korrelat zur Beanspruchung identisch ist, in Tektoniten eine Rolle spielt“. Diese Auffassung scheint mir doch die chemische Seite des Vorgangs zu wenig zu berücksichtigen.

7. Symmetrie der Strukturen.

Ohne Zweifel ist die Betrachtung der Symmetrieverhältnisse eines metamorphen Gesteins nicht ohne allgemeinen Wert. Bei Gesteinen, die keine Faltung zeigen, ist zunächst festzustellen, daß alle Vorgänge zentrisch symmetrisch verlaufen. Bei ebener Schieferung würde, wenn keine Richtung innerhalb der Schieferungsebene vor der anderen ausgezeichnet ist, die Symmetrie eines Rotationsellipsoides herauskommen. Schnitte senkrecht zur Schieferungsebene würden sich disymmetrisch verhalten, wie SCHMIDT solche nachgewiesen hat. Ordnet man der Richtung leichteren Ausweichung den längeren Durchmesser zu, so würde ein abgeplattetes Rotationsellipsoid die Symmetrie darstellen; der Kreischnitt entspricht der Schieferungsebene.

Bei reiner Streckung würde die Symmetrie des Gesteins dargestellt durch ein gestrecktes Rotationsellipsoid, die lange Rotationsachse entspricht der Streckungsrichtung.

Es ist festzustellen, daß diese reinen Grenzfälle selten auftreten. In der Regel kommt die Symmetrie eines dreiachsigen Ellipsoids heraus, indem eine der Richtungen innerhalb der Schieferungsebene als Streckungsrichtung hervortritt. Dann tritt als Symmetriebild ein dreiachsiges Ellipsoid auf. Benützen wir die optische Indikatrix mit den drei Halbachsen $\alpha < \beta < \gamma$ als Vorbild, so ist $\beta \gamma$ die Schieferungsebene, γ die Streckungsrichtung.

Nun kommen aber verwickeltere Fälle. Ist die Deformation nicht drehungsfrei, tritt eine Schiebung in einer Richtung innerhalb der Schieferungsebene auf, die etwa durch Einschlußwirbel in Porphyroblasten erkennbar wird, so haben wir keine Möglichkeit mehr, die Symmetrie durch ein Ellipsoid darzustellen. Ebenso ist ein Ellipsoid ausgeschlossen, wenn etwa bei dem Studium des Gefüges nach SCHMIDT ein antimetrisches Diagramm herauskommt. Man kann aber die Symmetrie eines solchen Gesteins darstellen, indem man durch eine der Symmetrieachsen des dreiachsigen Ellipsoids schief gegen die Symmetrieebenen eine ausgezeichnete Ebene legt, etwa den einen Kreischnitt des Ellipsoids vor dem anderen auszeichnet. Die Symmetrie wird die eines monoklinen Kristalls der Stufe V, Zentrum-, Spiegelebene und Deckachse.

Ist eine Fältelung vorhanden, so läßt sich für jedes Element eines Faltungsschenkels eines der 4 aufgezeigten Symmetriemodelle aufstellen. Man kann aber bei intensiver und gleichmäßiger Verfaltung auch von den einzelnen Falten absehen und versuchen, ob sich für den ganzen aus unendlich vielen Einzelfalten bestehenden Komplex das entsprechende Symmetriemodell aufstellen läßt. Das abgeplattete und das gestreckte Rotationsellipsoid sind wohl auszuschließen. Dagegen kann das dreiaxige Ellipsoid zugrunde gelegt werden, wenn die beiden Faltenschenkel vollkommen gleich gebaut sind. Dieser Fall dürfte indessen nicht häufig vorkommen. Zeigen dagegen die beiden Faltenschenkelsysteme konstante Verschiedenheiten, so bleibt nur eine Spiegelebene und die den Faltungachsen parallele Deckachse übrig. Dieser Fall findet sich häufiger verwirklicht.

Ähnliche Betrachtungen hat SANDER angestellt (32, S. 202).

8. Granittektonik.

In einer Anzahl von eingehenden Untersuchungen hat HANS CLOOS gesetzmäßige Beziehungen zwischen bisher wenig beachteten Strukturen und Klüftungssystemen an körnigen Tiefengesteinen verfolgt, welche in mancher Hinsicht an die Strukturen deformierter metamorpher Gesteine anklingen. Er führt sie zurück auf bestimmt orientierte Druckkräfte, die auf das Tiefenmagma in den letzten Phasen seiner Erstarrung und unmittelbar nachhergewirkt haben, und indem er diese Strukturen und Kluftsysteme über ganze Gebirgssysteme in ihrem Zusammenhang mit der sonstigen Tektonik verfolgt, ist er imstande den Bauplan des Gebirges übersichtlich darzustellen. Diese geologischen Anwendungen und Folgerungen fallen aus dem Rahmen der hier gestellten Aufgabe heraus; soweit aber diese Strukturen und Klüftungen zur petrographischen Charakterisierung der Massengesteine dienen können, soll darüber hier kurz berichtet werden.

Begünstigt werden diese Untersuchungen durch die ausgedehnte Steinbruchindustrie in der Region, wo diese Untersuchungen ihren Ausgangspunkt genommen haben. In den großen Granitsteinbrüchen von Strehlen und Striegau sind ausgedehnte zusammenhängende Entblößungen der Felsoberfläche vorhanden, welche genaue Aufnahmen gestatten.

Was sich in diesen großen Aufschlüssen beobachten läßt, ist kurz zusammengefaßt folgendes. (Beispiel aus dem Granitgebiet von Strehlen (7, S. 9 und Tafel 5, 16, 17).

Der Granit bildet nicht eine zusammenhängende Gesteinsmasse, sondern wird durch Fugen und Klüfte in natürliche Quader zerlegt; diese Klüfte folgen wenigen bestimmten Richtungen, der Granit be-

sitzt parallel gewissen Kluftrichtungen eine Teilbarkeit, die also ebenfalls gerichtet ist und von der die Arbeiter bei der Gewinnung des Granits ausgiebig Gebrauch machen.

Das Gestein selbst zeigt eine Streckung, die es im halbplastischen Zustand in den letzten Phasen der Erstarrung erhalten haben muß. Die Arbeiter bezeichnen sie als Faser. Eine nur bei scharfer Aufmerksamkeit erkennbare Parallelstellung der Gemengteile verläuft im ganzen Gebiet ostnordöstlich unter ca. 20° gegen den Horizont geneigt. Auf den nach N oder S blickenden Flächen oder von oben ist sie als eine zarte lineare Faserung zu beobachten, auf den nach W oder O gekehrten Flächen fehlt sie, so daß der Granit hier richtungslos körnig erscheint.

In derselben Richtung verlaufen gelegentlich dunklere Schlieren, die ihre Gestalt fluidal im noch schmelzflüssigen Magma erhalten haben; in derselben Richtung sind durch Fließbewegung Schollen des Nebengesteins reihenweise angeordnet.

Die Streckung wird mit F bezeichnet und ihre Lage durch Angabe des Azimutes¹⁾ und des Neigungswinkels gegen den Horizont bestimmt. Das Azimut wird von N über O nach S gezählt. Die Beobachtungen schwanken von F 60° bis F 85° , die Mehrzahl liegt bei F 75° und F 80° . Die Neigung gegen den Horizont ist $10\text{--}25^\circ$ und zwar gegen ONO.

Senkrecht zu der Streckung läßt sich der Granit nur schwer spalten. Die entstehenden Flächen erscheinen wegen der zahlreichen Unebenheiten dunkel und sind beim Befühlen rau. Diese Flächen heißen bei den Arbeitern Kopf- oder Hirnseite, Querseite, im Harz „Unseite“. Diese Fläche heißt bei Cloos K.

Von den unendlich vielen Flächen, die man durch F legen kann, sind zwei bevorzugt: Eine steile S, deren Streichen $80^\circ\text{--}85^\circ$ und deren Fallen steil N, fast saiger bestimmt wurde. Diese Fläche kann leicht an beliebiger Stelle im Gestein hervorgerufen werden. Die Spaltfläche erscheint hell, in der Richtung von F fein gestreift und ist beim Anfühlen glatt.

Eine zweite Richtung leichter Teilbarkeit liegt flach. Sie ist von ähnlicher Beschaffenheit wie S und fällt flach $10\text{--}20^\circ$ nach Ost. Die Steinbrucharbeiter bezeichnen sie als Lager; ihre Bezeichnung bei Cloos ist L. Sie ist nicht identisch mit der Absonderung oder Bankung parallel mit der natürlichen Oberfläche, die durch Anwitterung (Frostwirkung?) zustande kommt, und die auf die ober-

¹⁾ Ob die Azimute gegen den magnetischen oder gegen den astronomischen Meridian bestimmt sind, ist nicht gesagt. Auf dem Plan von Strehlen ist der Nordpfeil mit MN bezeichnet. In anderen Karten mit N.

flächlichen Teile des Gesteins beschränkt ist, während L auch in der Tiefe des Bruches anhält.

Mit dieser Struktur der Gesteinsmasse sind nun folgende Kluftsysteme gesetzmäßig verknüpft:

1. Sehr zahlreiche ebene Klüfte, die lang fortsetzen. Die meisten dieser NS streichenden Klüfte sind an den Wänden mit Kristallen von Quarz (und Feldspat) besetzt, mit Lagen von Chlorit und darüber mit Krusten von Brauneisenerz und Manganerz überklebt. Sie streichen $175-180^\circ$ und fallen nach W unter $40-60^\circ$. Viele davon sind durch aplitische Nachschübe erfüllt. Die Aplitgänge fallen öfter etwas flacher nach W als die leeren Klüfte (nach dem Profil).

Dieses Kluftsystem, das die Streckung unter einem von 90° nicht sehr abweichenden Winkel schneidet, muß schon sehr frühzeitig, bald nach der Erstarrung entstanden sein; es wird mit Q (Querklüft) bezeichnet.

2. Weniger zahlreich, nicht so geradlinig und weniger lang anhaltend erweisen sich O—W-Klüfte, die nie so eben sind wie Q, keine Mineralfüllung besitzen. Sie werden mit S bezeichnet; ihr Streichen liegt im Azimut $70-90^\circ$, sie fallen steil N.

Diese Kluftsysteme so wie die durch F, S und L gegebene versteckte Struktur des Granits werden mit einem während der Erstarrung des Granits auf ihn gerichteten Seitendruck D in Beziehung gebracht. Am sichersten zeigt diesen Druck die Streckung an. In gefalteten Gesteinen zeigt die Streckung die Richtung kleinsten Druckes, die Richtung, in welcher das Gestein während der Gebirgsbildung ausweicht. Sie steht natürlich auf der Richtung größten Druckes senkrecht. Bei Strehlen ist also eine nördliche Druckrichtung anzunehmen. Die N—S-Klüfte und die mit Aplit erfüllten Quergänge liegen in der Druckrichtung; ihr Klaffen, welches das Eindringen des Aplites, sowie die Mineralausscheidungen auf ihnen ermöglicht, ist ein Beweis, daß die Dehnung senkrecht zum Seitendruck auch nach der Erstarrung andauerte.

Die niemals klaffenden, nie mit Mineralen besetzten steilen O—W-Klüfte S liegen senkrecht zum Seitendruck und wären nach Cloos mit dem Schieferungsflächen kristalliner Schiefer zu vergleichen.

Die Teilbarkeit nach den Lagerflächen L würde zu der Schwerkraft also zum Belastungsdruck G in einer ähnlichen Beziehung stehen wie S zu D. Daß L bei Strehlen nach O flach einfällt, wird mit einer nach dieser Richtung zunehmenden Belastung erklärt.

Das ganze System von Streckung, Teilbarkeit und Klüftung des Granits stimmt offenbar überein mit der Struktur gestreckter kristalliner Schiefer, bei welchen unterschieden wird:¹⁾

¹⁾ Denkschriften der Wiener Akademie, 75. Bd., S. 54.

Hauptklüft parallel Schieferung und Streckung.

Längsklüftung senkrecht zur Schieferung, parallel zur Streckung.

Querklüftung senkrecht zur Streckung.

Die Identität von Querklüftung ist augenscheinlich. Weniger klar ist die Beziehung von Hauptklüft und Längsklüftung zu S und L.

Im weiteren Verlauf der Untersuchungen, finden nun noch andere Strukturmerkmale ihre Einordnung in das Schema. Statt oder neben den Querklüften kommen auch regelmäßige Klüftsysteme in diagonaler Richtung vor. Sie entsprechen den Flächen größter Scherung und es lassen sich an ihnen in der Tat Verschiebungen nachweisen. Die spitzen Winkel der Diagonalklüfte werden von der angenommenen Druckrichtung halbiert. Die Diagonalklüfte fallen in den Druckquadranten. Bisweilen sind sie unsymmetrisch verteilt, indem ein System vorherrscht.

Eine sehr merkwürdige Erscheinung sind endlich die Rutschflächen, welche H. CLOOS im Granit von Zobten genauer verfolgt hat (8, S. 103).

In dem linear gestreckten Granit von Zobten gibt es Rutschflächen, die durch folgende Eigenschaften ausgezeichnet sind:

Das Streichen der Flächen geht beliebig durch alle Richtungen mit Ausnahme von N—NNO.

Das Fallen ist flach (20—30 nie über 55°) und ausschließlich nach SW, S und SO gerichtet, nie nach N.

Alle Flächen sind prachtvoll gestreift. Unabhängig von der wechselnden Lage der Fläche liegt die Horizontalprojektion der Streifung auf allen Flächen in einer Richtung, diese ist zugleich die Richtung der Streckung im Granit. (ONO, 55—75° streichend, 5 bis 10° in derselben Richtung fallend.)

Auf der Fläche liegt ein nur millimeterdickes, gebändertes Schieferblatt, das als mechanisches Quetschprodukt des angrenzenden Granits aufzufassen ist. In dessen Schieferung erscheint die Streifung als lineare Streckung. Chemische Mineralabsätze fehlen auf diesen Flächen. Zwischen der Streckung des Granits und der Schieferung dieser Flächen gibt es alle Übergänge.

Die flachen Rutschflächen liegen auf den am frühesten gebildeten Fugen des Granits. Sie sind zum Teil älter als die Querklüfte und ihre postvulkanischen Füllungen und schließen also auch zeitlich unmittelbar an die Streckung an; andere Querklüfte sind jünger.

An derartigen Rutschflächen haben Verschiebungen stattgefunden, welche einem Abgleiten der oberen Scholle auf der unteren in der Richtung der Streckung also einer Distraction der Masse entsprechen.

Auch im Strehleiner Massiv sind solche Streckflächen nachgewiesen. Sie stehen dort mit einer anderen Eigentümlichkeit dieser Granitmassive in Zusammenhang, mit der Aufwölbung oder Hochdehnung.

Quert man das Strehleener Massiv von W nach O, so ergibt sich für die Streckung folgende Lage:

Im Westen bei Gorkau

Azimut N 60—70° O, Fallen 0—15° nach West

Mitte, Steinkirche

Azimut N 80—90° O, horizontal

Im Osten bei Strehlen

Azimut N 80—85° O, Fallen 10—20° nach Ost

Im Osten bei Hussinetz

Azimut N 80—90° O, Fallen 20—25° nach Ost

Hand in Hand damit fallen die Querklüfte bei Gorkau 60—80° O, stehen bei Steinkirche saiger und fallen im Osten bei Strehlen und Hussinetz 40—60° W.

Es ergibt sich somit in der W—O-Richtung des Massivs ein flach bogenförmiges Auftauchen und Abfallen der Streckungsrichtung, womit gleichzeitig die sämtlichen Kluftsysteme systematisch ihre Lage ändern.

Das ist also dieselbe Erscheinung, die ich 1892 vom Kepernik-Granitgneis im Altvater beschrieben habe, und dasselbe gilt in ganz großem Maßstab von den Zentralgneismassen der Hohen Tauern.

Am SW-Ende in der Brenner Gegend sinkt der Zentralgneis mit ausgesprochener Streckung mit ca. 15° in der Richtung WSW unter die Schieferhülle, die Querklüfte blicken nach ONO. In der Floite, Stillup, im Zillergrund liegt die Streckung horizontal, die Querklüfte stehen saiger. Am breiten Ostabfall des Hochalm-Massivs im Osten senkt sich die Streckung, die dort weniger deutlich ausgesprochen ist, im allgemeinen nach O; etwas gegen ONO im Norden, OSO im Süden; im Zentralgneis unter sehr kleinen Winkeln 6—7°, in der Schieferhülle etwas steiler.¹⁾ Die Querklüfte sind steil gegen W gerichtet.

Die Ähnlichkeit der Erscheinung ist eine sehr große und man könnte darin eine Bestätigung für die Ansicht erblicken, daß die metamorphen Erscheinungen in den Granitgneisgebieten durch die Fortdauer derselben Druckkräfte hervorgerufen wurden, die schon in den letzten Phasen der Erstarrung des Magmas wirksam waren, bei den Granitmassiven bald nach der Erstarrung zum Erlöschen kamen, in den metamorphen Gebieten aber noch lange über die Erstarrungszeit hinaus wirksam blieben.²⁾

¹⁾ Vgl. die kurzen Angaben in Wiener Denkschriften, Bd. 75, S. 52, ferner Wiener Sitzungsberichte 1909, 118. Bd., S. 1054 und die Publikationen von SANDER über das Westende der Tauern.

²⁾ Vgl. Über Metamorphismus in den Alpen. Mitt. Geol. Gesellsch. Wien 1914, S. 320. — Typen der Metamorphose. Geol. Fören. Forhandl. 1920, Bd. 42, S. 183. Norsk Geologisk Tidsskrift 1922, Bd. 6, H. 3—4, S. 251.

Auf die geologischen Anwendungen der Granittektonite einzugehen (Schlesische Massive, Riesengebirge, Lausitzer Massiv, Harz, Odenwald, Schwarzwald) ist hier nicht der Ort. Jedenfalls ist die Berücksichtigung der feineren Struktur und der Klüftung der Granitmassive, die von Cloos und seinen Schülern so energisch in Angriff genommen wurde, sehr zu begrüßen, und wenn es gelingt diese Erscheinungen mit jenen an metamorphen Gesteinen also den Granitgneisen und kristallinen Schiefen in enge Beziehungen zu bringen, wird man sich schöne Erfolge in der Zukunft versprechen dürfen.

Nachtrag.

Während der Korrektur dieses Ostern 1924 abgeschlossenen Berichtes kamen mir die Abhandlungen von OTTO MÜGGE: „Scheinbar deformierte Kristalle und ihre Bedeutung für die Erklärung der Schieferung“ zu Gesicht (Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen 1924, H. 1, S. 72 und Zeitschrift für Kristallographie 1924, Bd. 59, H. 4/5, S. 366). Die in (18) auseinandergesetzten Vorstellungen (vgl. S. 190 dieses Berichtes) werden sehr glücklich auf die sonderbaren Verzerrungen des Tonwürfelsalzes angewendet, welche RINNE durch mechanische Deformation nach Translationsflächen erklären wollte, wogegen schon GÖRGEY (Mineral-petrograph. Mitteil. 1912, Bd. 31, S. 376) sich aussprach. Dieser suchte eine Erklärung durch Wachstumsverzerrung im Anschluß an SANDER'S Vorstellung von der leichteren Wegsamkeit der Nährlösung in der Richtung der Schichtung. MÜGGE erklärt die Erscheinung durch das Ausweichen des Tones zu beiden Seiten des Salzkristalls; der virtuelle Hohlraum wird durch das Nachwachsen des Salzkristalls erfüllt. Diese Erklärung dehnt MÜGGE auch auf die Neubildung von Glimmerblättchen im Streckungshof von kleinsten Quarzkörnern im Ton aus, der durch metamorphe Einflüsse (Druck und Versenken in Regionen höherer Temperatur) zum Phyllit wird.

Literaturverzeichnis.

1. HELGE BACKLUND, Petrogenetische Studien an Taimyrgesteinen. Geol. Fören. Förhandl. 1918, Bd. 40, H. 2, S. 101—203.
2. GEORGE F. BECKER, The finite elastic stress-strain function. Amer. Journ. of Sc. 1893, Bd. 46, S. 337—356.
3. —, Finite homogeneous strain, flow and rupture of rocks. Bull. Geological Society of America 1893, Bd. 4, S. 13—90.
4. —, Schistosity and slaty cleavage. Journ. of Geol. 1896, S. 429—448.
5. —, Experiments on schistosity and slaty cleavage. Bull. 241, U. S. Geological Survey 1904.
6. —, Simultaneous Joints. Proceed. Washington Acad. of Sc. 1905, Bd. VII, S. 267—282.
7. HANS CLOOS, Der Mechanismus tiefvulkanischer Vorgänge. Sammlung Vieweg, H. 57, Braunschweig 1921.
8. —, Tektonik und Magma. Abhandl. d. Preuß. Geol. Landesanst., N. F. H. 89, Berlin 1922.
9. —, Der Gebirgsbau Schlesiens. Berlin 1922, Bornträger.
10. H. P. CORNELIUS, Zur Frage der Beziehungen von Kristallisation und Schieferung in metamorphen Gesteinen. Zentralbl. f. Min. usw. 1921, S. 1—11.
11. O. H. ERDMANNSDÖRFFER, Die kristallinen Schiefer des Prnar Dag in Ostmacedonien. N. Jahrb. f. Min. 1921, Beil.-Bd. 48, S. 75—112.
12. —, Über metamorphe Gesteine in Macedonien. Berliner Akademie Sitzungsber. 1920, XXXII.
13. —, Mechanische Probleme bei der Bildung kristalliner Schiefer. Naturwissenschaften 1920, S. 340.
14. P. J. HOLMQUIST, Om Pegmatit palingenes och ptygmatik veckning. Geol. Fören. Förhandl. 1920, Bd. 42, H. 4, S. 191—213.
15. —, Typen und Nomenklatur der Adergesteine. Ebenda 1922, Bd. 43, H. 6—7. S. 632—642.
16. C. K. LEITH, Structural Geology. London 1914.
17. ARTUR MARCHET, Zwillings- und Lageverzerrung beim Staurolith. Wien. Akad. Sitzungsber. 1919, 128. Bd.
18. OTTO MÜGGE, Vorgänge in der Gesteinswelt und ihre Messung. Nachrichten d. Gesellsch. d. Wiss. Göttingen 1919, S. 78—100.
19. P. NIGGLI und J. JOHNSTON, Einige physikalisch-chemische Prinzipien der Gesteinsmetamorphose. N. Jahrb. f. Min. 1914, Beil.-Bd. 37, S. 495—576.
20. BRUNO SANDER, Über Zusammenhänge zwischen Teilbewegung und Gefüge in Gesteinen. Min.-petr. Mitteil. 1911, Bd. 30, S. 281—314.
21. —, Über tektonische Gesteinsfazies. Verhandl. Geol. Reichsanst. Wien 1912, Nr. 10.
22. —, Über einige Gesteinsgruppen des Tauernwestendes. Jahrb. Geol. Reichsanst. 1912, Bd. 62, S. 219—288.
23. —, Studienreisen im Grundgebirge Finnlands. Verhandl. Geol. Reichsanst. Wien 1914, Nr. 3.
24. —, Bemerkungen über tektonische Gesteinsfazies und Tektonik des Grundgebirges. Ebenda 1914, Nr. 9.
25. —, Beiträge aus den Zentralalpen zur Deutung der Gesteinsgefüge, 1. u. 2. Folge. Jahrb. d. Geol. Reichsanst. 1915, Bd. 64, S. 567—634.
26. —, Über einige Gesteinsgefüge. Min.-petr. Mitt. 1915, Bd. 33, S. 103—113.

27. —, W. SCHMIDT, Mechanische Probleme der Gebirgsbildung. Verhandl. Geolog. Reichsanst. 1916, Nr. 2, S. 47—53, Referat.
 28. —, Tektonik des Schneeberger Gesteinszuges zwischen Sterzing und Meran. Jahrb. d. Geolog. Reichsanst. Wien 1920, 70. Bd., S. 225—234.
 29. —, Geologische Studien am Westende der Hohen Tauern, II. Bericht. Ebenda 1920, 70. Bd., S. 273—296.
 30. —, Zur Geologie der Zentralalpen. Ebenda 1921, 71. Bd., S. 173—224.
 31. —, Zur Granittektonik, Mikrotektonik. Verhandl. d. Geolog. Bundesanst. 1923, Nr. 4, S. 80—85 (Literaturverzeichnis).
 32. —, Zur petrographisch-tektonischen Analyse. Mit einem Beitrag von M. PERNT. Jahrb. d. Geol. Bundesanst. Wien 1923, 74. Bd., S. 183.
 33. WALTER SCHMIDT, Mechanische Probleme der Gebirgsbildung. Mitteil. Geolog. Gesellsch. Wien 1915, Bd. 8, S. 62.
 34. —, Statistische Methoden beim Gefügestudium kristalliner Schiefer. Wiener Akad. Sitzungsber. 1917, Abt. I, Bd. 126, S. 515—538.
 35. —, Bewegungsspuren in Porphyroblasten kristalliner Schiefer. Ebenda 1918, Abt. I, Bd. 127, S. 293—310.
 36. —, Über Kaltreckvorgänge. Jahrb. d. Montanist. Hochschule Leoben 1923, 7 S.
 37. KARL STIELER, Ein Beitrag zum Kapitel Klüfte. Zentralbl. f. Min. usw. 1922, S. 664 u. 703.
 38. GUSTAV TAMMANN, Lehrbuch der Metallographie. Dritte erweiterte Auflage. Leipzig 1923.
-