

# Beiträge aus den Zentralalpen zur Deutung der Gesteinsgefüge.

(Erste und zweite Folge, November 1914.)

Von **Bruno Sander.**

Mit 12 Tafeln (Nr. XXVII—XXXVIII).

## 1. Feinschichtung, Teilbewegung und Kristallisation im Kleingefüge einiger Tiroler Schiefer.

### Einleitung.

Es ist eine vom Verfasser schon mehrfach begonnene Aufgabe für sich, dem Verhältnis zwischen Teilbewegung und Kristallisation im Gesteinsgefüge oder im Kleingefüge anderer umgeformter Körper (Metalle etc.) nachzugehen. Hierzu sind einige Unterscheidungen nötig, um so mehr als es in der Gefügekunde der Gesteine ermöglicht werden soll, Befunde zu beschreiben, ohne sich schon durch den Gebrauch unserer meist halb beschreibenden, halb eine bestimmte Entstehung behauptenden Ausdrücke einer Hypothese über die Entstehung anzuschließen. Es scheint, wie in ähnlichen Arbeitsgebieten, eine rein beschreibende Bezeichnungsweise nicht ohne Vorteile. Hierbei werden die als Beobachtungen und Hypothesen höchst schätzenswerten Ergebnisse hoffentlich nicht verkannt, welche in Ausdrücken wie Kristallisationsschieferung und Piezokristallisation verdichtet und freilich auch fest mit Hypothesen über die Entstehung verknüpft worden sind.

Eine Anzahl solcher Unterscheidungen und Ausdrücke ist in früheren Studien des Verfassers angeführt, worauf hier nur verwiesen werden kann, besonders auf das Jahrbuch der k. k. geol. Reichsanstalt 1912 und das Literatur- und Sachverzeichnis dieser Arbeit, ferner auf Verhandlungen der k. k. geol. Reichsanstalt 1914, Nr. 3 und Nr. 9. Immer handelt es sich darum, Teilbewegung und Kristallisation begrifflich zu trennen und ihr Verhältnis womöglich zu bestimmen. Hierin kann man ziemlich weit gelangen, wenn neugebildete größere Mineralkörner etwas vom Gefüge, wie es zur Zeit ihrer Entstehung war, umschlossen und aufbewahrt haben. Es werden also hier häufig Gesteine mit großen Holoblasten als Beispiele herangezogen werden.

Zugleich bildet die Beschreibung dieser meist der unteren Tauern-Schieferhülle entnommenen Typen eine gewisse Ergänzung der in der erstzitierten Arbeit erfolgten Beschreibung von Tauerngesteinen, welche namentlich mit Hinblick auf stratigraphische Fragen ausgewählt waren.

Das Gesteinsmaterial wurde insbesondere anlässlich früherer von der kaiserlichen Akademie subventionierten Begehungen in den Tauern gesammelt, die Herstellung des sehr beträchtlichen Schliffmaterials vom geologischen Institut Innsbruck und von der k. k. geologischen Reichsanstalt ermöglicht, so daß ich den genannten Instituten verpflichtet bin.

Da es bekanntlich nicht immer leicht ist, mit den Ausdrücken Struktur und Textur in Grubenmanns Definition zu Werke zu gehen, wird hier Gefüge gesagt und mag dieser unmittelbar verständliche Begriff die Merkmale des inneren Baues alle umfassen, welche man bei manchen Gelegenheiten gewiß mit Vorteil weiter einteilen und voneinander trennen kann.

Bei einer ausführlichen Besprechung eines Schiefers im Sinne dieser Übersicht wird der Kürze halber etwa folgendes Schema vorgeschlagen und teilweise verwendet.

#### Rein beschreibend:

1. Gefügeelemente (Minerale, Aggregate etc.).

2. Kleingefüge.

*s* = eine wie immer entstandene Schar paralleler Gefügeflächen (Schieferung, Feinschichtung etc.).

*snd* = Gefügeflächen mit grobmechanischer Korndeformation z. B.:

*sr* = Gefügeflächen mit rupturer Korndeformation.

*sb* = Gefügeflächen ohne grobmechanische Korndeformation (z. B. Bild der Kristallisations-schieferung).

Erfahrungsgemäß schließt *snd* an dem einen Gefügeelement (z. B. Quarz oder Glimmer), *sb* an dem anderen Element (z. B. Karbonat) nicht aus. Auch ist gegebenenfalls ebenfalls eigens für jedes Gefügeelement zu unterscheiden, ob das *s* nur durch heterometrische (z. B. oblonge) Körnerform ohne Regelung der Kristallachsen der verschiedenen Körner zustande kommt oder mit Regelung der Achsen (z. B. subparallele Stellung der *c*-Achsen bei Quarz; subparallele Stellung oder bloß Regelung  $\parallel s$  der Hornblendeachsen).

*si* = *s* innerhalb von Kristalloblasten (intern).

*se* = *s* außerhalb von Kristalloblasten (extern), *si* kann = *se* sein oder Unterschiede zeigen.

Die Minerale liegen entweder nur ungefähr geregelt in *s*, wie z. B. im Glimmergebälke (vgl. Figur 6) und in den Polygonalbögen von Falten mit Abbildungskristallisation, oder scharf in *s*.

Von der Gebälkform der Glimmer ist das Glimmergeflecht (vgl. Figur 1) seiner Deutung halber möglichst zu unterscheiden. Aneinander grenzende gleichartige Körner (z. B. Quarz) sind entweder scharf oder unscharf umrissen (bei gleicher Schliffdicke und unabhängig von verzahntem, buchtigem oder Mosaikverband).

#### Die Gefügedeutung betreffend:

*d* = Teilbewegung im Gefüge (Differentialbewegung, Gefügebewegung).

*ds* = *d* in *s*.

*mā* = molekulares *d* z. B. *nds*.

*nd* = nichtmolekulares *d* z. B. *nds*, Fältelung.

- k* = die Kristallisation; vor, mit oder nach *d*.  
*ss* = sedimentäres *s* (Einschichtung).  
*ab* = abgebildet durch Kristallisation.  
*ag* = ausgearbeitet, gleichsinnig weiterentwickelt.  
*mag* zeigt an, daß dies durch *md* geschah.  
*nag* zeigt an, daß dies durch *nd* geschah.

Die hier unternommenen Studien schließen sich eng an folgende Vorarbeiten des Verfassers an:

- B. Sander, Über Zusammenhänge zwischen Teilbewegung und Gefüge in Gesteinen. *Tschermaks Mineralog. und Petrogr. Mitteil.* 1911. XXX. Wien.  
 — Über tektonische Gesteinsfazies. *Verhandl. der k. k. geol. R.-A.* Wien 1912.  
 — Über einige Gesteinsgruppen des Tauernwestendes. *Jahrb. d. k. k. geol. R.-A.* Wien 1912.  
 — Studienreisen im Grundgebirge Finnlands. *Verhandl. d. k. k. geol. R.-A.* Wien, 1914, Nr. 3.  
 — Bemerkungen über tektonische Gesteinsfazies und Tektonik des Grundgebirges. *Verhandl. d. k. k. geol. R.-A.* Wien, 1914, Nr. 9.

## I. Untere Schieferhülle der Tauern.

Zur leichteren Orientierung über die Ortslage der beschriebenen Schieferhüllengesteine wird denselben hier wie in den geologischen Studien am Westrande der Hohen Tauern (*Denkschr. d. Akad. math.-nat. Kl. Bd. LXXXII*) in folgender Ordnung nachgegangen. Wir umfahren im Süden beginnend das Tauerngneisende der Hochfeilergruppe und weiter westlich, bei Sterzing, die vom Pfitscherbach und Sengesbach angeschnittene „Sengesser Kuppel“; im Anschluß werden Gesteine aus dem Sterzinger Becken angeführt, welche dem „Schneeberger Zug“ der unteren Schieferhülle angehören. Ebenfalls im Süden am Pfitscherjoch beginnend wird das Ende der Zillertaler Gneise umfahren und hierbei am Brenner einiges angeschlossen. Dann wird die untere Schieferhülle zwischen Maulser Gneisen und nördlich folgendem Kalkphyllit beschrieben, welche in der geologischen Beschreibung als eine südlich von *Termiers* angenommener Fortsetzung verlaufende Fortsetzung der „Matreier Zone“ den Lokalnamen „Rensenzone“ erhielt. Diese Notizen betreffen also geographisch den Hochfeiler, das Pfunderer Gebirge, (die Sarntaler Alpen), die Stubai Alpen, den Tuxer Hauptkamm und die Tuxer Voralpen. Die genauen Ortsangaben sind im Hinblick auf eventuelle spätere Weiterarbeit angeführt.

### Hochfeiler und Sengesser Kuppel.

1. Zwischen Weißzint und Eisbruckjoch ist dem Zentralgneis des Hochfeiler als scharfes, konkordantes Brett ein dunkler Glimmerschiefer eingeschaltet, welchen in der Hand besonders quer zu *s* gestellte Biotite bezeichnen; ein Gestein, welches da und dort im Tauerngneis seinesgleichen hat, welche sich wieder mit etwas abweichenden in eine Gruppe stellen lassen: es sind Typen der unteren Schieferhülle, welche dem Tauerngneis selbst eingeschaltet sind (Greiner Schiefer im Tauerngneis).

Das Kleingefüge zeigt nur *sb*.

Quarz zeigt eckige Körner mit unregelmäßigen Achsen, außerhalb der Biotite merklich oblong in *s*. Dieses *se* setzt durchwegs gänzlich unverlegt durch die verschiedenen orientierten Biotite. *si* des Quarzes in den Biotitholoblasten unterscheidet sich von *se* nur durch das Fehlen oblonger Körner. Es ist demnach *s* des Quarzes vorbiotitisch und wahrscheinlich *ss* (sedimentär angelegt), da im Biotit nicht durch oblonge Körnerform bestimmt, sondern lediglich durch Anordnung in Zeilen (wie wir sie bei Feinschichtung bestimmend sehen).

Epidot, fast ebenso wie Quarz vertreten, bildet Säulchen durchschnittlich etwa im Maße  $1 \times 10$ .

Die *b*-Achsen sind subparallel gestellt, also linear. *si* im Biotit ist gut entwickelt, also vorbiotitisch. Die Epidote in *se* sind größer und anscheinend besser linear geordnet. Ihre Unversehrtheit läßt die Epidote als Holoblasten betrachten.

Grüne Hornblende tritt mit linearer Anordnung der *c*-Achsen auf und fehlt im Biotit (Aufzehrung? spätere oder gleichzeitige Bildung?)

Die häufig von *s* abweichenden Biotitholoblasten zeigen zuweilen deutlich einen epidot- und hornblendefreien Hof aus größer entwickelten Quarzkörnern, wie man sie auch in Erstarrungsstrukturen in der Nähe des Biotits finden kann. Die von *s* abweichenden Biotite sind nicht verkümmert.

Zeitliche Generationen:

1. Quarz, Epidot,
2. Quarz, Hornblende, Biotit,
3. Quarz.

An Teilbewegung ist höchstens *mds* vorhanden (lineare Regelung von Epidot und Hornblende). Die Kristallisation des Biotits ist nach oder mit *mds* erfolgt. Wahrscheinlich fiel *mds* mit dem Kristallisationsmaximum (oben 2) zusammen.

Es war also ein Gefüge aus feingeschichteten, scharfeckigen Quarzkörnern und kleinen Epidotnadelchen (scheinbar schon in *s* angeordnet, wodurch? —) vorhanden. Dann kamen die Biotitholoblasten, welche diese erste Generation reliktsch (als *si*) umschlossen. Die Epidote scheinen sodann im allgemeinen noch weiter gewachsen zu sein und Hornblende trat, ebenfalls linear geordnet, auf. Epidot stellte sich, wie gewöhnlich mit der *b*-Achse, Hornblende mit der *c*-Achse // der Streckung. Ebenfalls wurden die Quarze oblong; alles gute Hinweisen auf *mds*, wahrscheinlich „Streckung“. Bewegung kann nur in *s* stattgefunden haben, denn *si* im Biotit ist unverlegt gegenüber *se*. In Vergleichstypen aus dem Habachtal, welche mir Herr Dr. Ohnesorge freundlichst zur Einsicht gab, findet man die Gleichzeitigkeit der Kristallisation von Biotit und Hornblende deutlich und viel Kalzit. Letzteren betrachte ich als einen sedimentären Charakter im Zusammenhang mit der Feinschichtung des Quarzes, welche auch in Ohnesorges Material sehr deutlich ist. In einer tektonischen Fazies dieser Habacher Gesteine wurde die im Kalzit seltene, interne Relikt-

struktur und ihre Verlegung durch  $nd$  in schöner Ausbildung beobachtet.

Demnach betrachte ich derartige zum Teil im Tauerngneis, zum Teil peripher liegende Biotit-Hornblende-Schiefer als Paraschiefer mit Feinschichtung.

2. Kalkepidotalbitschiefer zwischen Napfspitze und Roter Riffel.

Quarz spielt eine geringe Rolle und zeigt Aggregate eckiger Körner in  $s$  verflacht.

Auch der Albit bildet in  $s$  verflachte Aggregate großer kantengerundeter Holoblasten mit ungerichteten Achsen.

Epidot und Hornblende als Nadelchen und filzige Lagen in  $s$ .

Kalzit bildet geschlossene Körnerlagen in  $s$ . Gegenüber  $sb$  spielt  $sr$  keine Rolle.

Zeitlich scheint nur wahrnehmbar:

Quarz, Epidot,  
Hornblende, Albit,  
Kalzit.

Ein voralbitisches  $s$ , von welchem im Albit Epidot und tonige Substanz (Nadelchen) als  $si$  zu sehen sind, wurde von den Albitholoblasten umschlossen. Es erfolgte sodann die Verlegung dieses  $si$  durch parakristalline Teilbewegung in  $s:nds$  der Albite,  $mds$  bei Hornblende und Epidot.

Die Albitkristallisation fand vor und mit  $ds$  statt.

3. Chloritschiefer mit Epidotknollen im Kalkphyllit der Roten Riffel.

$sb$  wird gebildet aus Lagen eckiger, schwach verzahnter Quarzkörner (hierbei etwas Albit und Kalzit) mit ungerichteten Achsen, ferner aus wechselnden Lagen von Chlorit, Epidot und kleinen Hornblendeln; namentlich Epidot und Hornblendelagen wechseln. Feinschichtung ist wahrscheinlich. Große Hornblendeln ohne  $si$  sind wahrscheinlich selbst Relikte.

Auch hier ist im Albit verlegtes  $si$  (Epidot, Tonschiefersubstanz) wahrnehmbar.

Es hätte demnach  $ss$  mit Tonschiefersubstanz Epidot und (?) großer Hornblende eine schwache Albitisation erfahren, worauf Verlegung von  $si$  erfolgte. Parakristallines  $nds$  der Albite und  $mds$  mit Kristallisation von Chlorit, Epidot und kleiner Hornblende hätten die Ausgestaltung der Feinschichtung bewirkt mit dem Bilde von  $sb$ .

4. Hieran ist ein zweiglimmeriger Epidotgneis (Muskovit und Biotit in  $sb$ ) anzuschließen, in welchem, wie ich nach vielen derartigen Beobachtungen glaube, im Zusammenhang mit der Glimmerführung stark oblonge (1:5) Gestalt der Quarzkörnerquerschnitte in  $sb$  auftritt.  $mds$ .

5. Zweiglimmergneis zwischen den beiden Marmormänteln des Hochfeiler zeigt dieselbe Erscheinung an Albitquerschnitten in Lagen sehr verschiedener Korngröße, mit ungerichteten Achsen in reinem  $sb$ .

Auch die Glimmer, Muskovit, Biotit (und etwas Chlorit nach Biotit) zeigen keine Spur nichtmolekularer Deformation, sondern schöne Abbildungskristallisation von Stauchfältelung (Polygonalbögen

der Glimmer). Die Kristallisation ist nach und mit der genannten Teilbewegung erfolgt.

Die Glimmer werden gedeutet als Hemiblasten, deren Kristalloblastese zur Abbildung eines vorhandenen *s* mit Stauchfältelung führte.

6. Muskowitglimmerschiefer vom Gneiskontakt im Gliederkar zeigt reines *sb*, Muskovit in *sb* oblong, quer *sb* gedrunge, ferner Quarz mit stark schwankender Korngröße und verzahnten Umrissen. Große Quarzholoblasten zeigen unverlegtes *si* aus kleinen Muskoviten. *nds* fehlt, *mds* ist vielleicht vorhanden.

Ein vorkristallines *s* wurde kristallin abgebildet und bestand aus kleinen Muskoviten und wahrscheinlich auch aus Quarz, welcher in *si* der Quarzholoblasten nicht sichtbar blieb. Sodann kam das Kristallisationsmaximum mit Bildung der Quarzholoblasten und Weiterwachsen des externen Muskovits außerhalb derselben, besonders in *s* als Abbildungskristallisation.

Hier wie in vielen Fällen drängt sich ein Erklärungsprinzip der Schieferung außerhalb des Riecke-Beckeschen in die Überlegung. Ist *s* einmal da (wie in diesem Falle durch *si* erwiesen), so ist die Zirkulation und Zufuhr in *s* leichter als quer zu *s*. Damit läßt sich ein Weiterwachsen von Kristallen vorzugsweise in der Richtung von *s*, eine Verstärkung der Schieferung, auch ohne Druck denken und ohne Umformung eines zuerst vorhandenen isometrischen Kornes in ein in *s* oblonges Korn. Diesen Gedanken halte ich besonders in solchen Fällen für anwendbar, in welchen die Neuentstehung eines Kornes aus den zirkulierenden Lösungen bei Mobilisation gewisser Bestandteile erfolgt. Für manche Gesteine, von welchen gelegentlich hier noch Beispiele gegeben werden, möchte ich also neben das Rieckesche Prinzip noch diesen Gedanken an die Wegsamkeit von *s* für Lösungen stellen als ein die Schieferung nicht nur abbildendes, sondern weiter ausgestaltendes Prinzip.

7. Auch der Marmor (vom Kontakt *ibid.*) mit Biotit und Muskovit in *sb* zeigt eine bei hoher Kristallisation abgebildete Feinschichtung.

8. Ebenso zeigt Graphitglimmerschiefer nächst Gliederferner sichere, kristallisierte Feinschichtung. Schon die Lagen von Erz und *C* in *sb* sind nicht anders deutbar. Die Lagen verschiedener Korngröße aus verzahntem Quarz sind diesem sicheren *ss* parallel und mangels irgendwelcher Streckung und Verlängerung der Körner als *ss* mit Abbildungskristallisation zu bezeichnen.

9. Einige Glimmerschiefer über dem äußeren Kalkmantel des Hochfeiler gegen Süden.

Ein Glimmerschiefer von der Röthelspitzostwand bei Pfunders zeigt starke kristallin abgebildete Faltung eines präkristallinen *s* (wahrscheinlich Feinschichtung). „Sentealm bei Dun“ und „Röthelspitz zwischen den Marmoren“ zeigen *sb* lediglich durch Muskovit und etwas Chlorit zwischen Lagen aus ganz unregelmäßig, isometrischen, verzahnten Quarzkörnern; keine Spur von *nds*. Ebenso gehört ein Biotitglimmerschiefer mit Granaten von der Lapaalm zu diesen ganz vorwaltenden hochkristallinen Typen mit wohlausgebildeten unphyllitischen Glimmern und dementsprechend fehlendem *nds*.

10. Biotitquarzit über dem Kalk gegenüber der Kramerspitze im Sengestal bei Mauls ist gut geschichtet und weniger kristallin. Die Schieferung ist nicht nach Rieckes Prinzip zu erklären, so z. B. die Lagen unregelmäßiger und nicht oblonger Quarzkörner, deren von Lage zu Lage wechselnde Korngröße eben dieses nicht nach Riecke erklärbares ausmacht. Die Biotite sind nicht strenger orientiert und nicht von anderer Tracht als in den Fällen geschichteter Glimmersandsteine ohne Metamorphose, welche ich mir zum Vergleich ansah.

11. Albitgneis mit Karbonat zwischen beiden Marmorlagen des Hochfeiler.

Das Kleingefüge zeigt *sb* ohne *sr*.

Quarz bildet mit oblongen verzahnten Körnern Lagen verschiedener Korngröße.

Muskovit liegt streng in *sh*.

Albit in isometrischen Körnern zeigt weder in bezug auf *si* noch in bezug auf *se* eine Regelung. Von Teilbewegungen ist nur *nd* der Albite bestehend in Drehung mit Verlegung von *si* nachzuweisen.

Ein Tonschiefer mit *ss* aus Quarz und Nadelchen erfuhr Kristallisation. Die Nadelchen sind Holoblasten (schärfste Konturen), die Quarze bereits oblong, sodann findet Fältelung statt; dann die Kristallisation der Albite, welche als Holoblasten alles bisher Vorhandene als interne Reliktstruktur lokal in sich einschließen. Dann erfolgt eine Differentialbewegung im Gefüge, bei welcher sich die Albite drehen und *si* in den Albiten „verlegt“ wird. Diese Drehung erfolgt als eine in bezug auf die Albitkristallisation „parakristalline“ Gefügebewegung. Nach derselben wachsen die Albite weiter. Die Albitkristallisation ist also vor bis nach dieser Gefügebewegung erfolgt. Was aber nun neu hinzukommt, ist ein reliktfreier Saum. Es fehlte die Gelegenheit, weiteres *si* zu umschließen, welches, wie ich annehme, durch die eben erwähnte parakristalline Teilbewegung im Gefüge zerstört war.

Im weiteren Verlaufe fand Abbildungskristallisation des *se* statt, besonders durch Wachstum des Muskovits.

Zur Deutung dieses mit einigen Abweichungen in der unteren Schieferhülle weitverbreiteten Gesteinstypus ist noch einiges anzumerken. Im *si* des Albits kommt zuweilen auch Epidot, Erz, Muskovit bereits vor, wie 1912 in diesem Jahrbuch beschrieben. Dieses *si* ist in verschiedenen Fällen verschieden weit gediehen, bleibt aber gewöhnlich weit hinter *se* zurück, was den Grad seiner Kristallisation anlangt. In manchen Fällen beobachtet man aber in der Schieferhülle Albitisation in Gesteinen, welche auch nach derselben in *se* nicht über den Habitus eines Tonschiefers hinausgeraten sind.

Zuweilen fehlt die voralbitische Fältelung und es ist trotzdem die Fältelung durch reine Abbildungskristallisation gekennzeichnet. Hier ist wahrscheinlich die Fältelung erst in der Phase der Albitverlegung erfolgt und sodann erst kristallisiert, wie reliktfreie Säume am Albit und die Polygonalbögen des gefalteten *se* anzeigen.

Außer Muskovit findet man auch Biotit oft in *se*, ebenso unversehrten Chlorit. Zuweilen aber kommt in tektonischen Fazies dieser Gesteine sehr deutlich *nds* nach der Kristallisation des ganzen Ge-

füges zum Ausdruck: Verflößung der Albite, fluidales Gefüge der zerschmierten Muskovite, Quarzgefügeregel.

Ganz allgemein in der unteren Schieferhülle, besonders sichtbar aber in den eben herangezogenen Gesteinen, beweisen interne Reliktstrukturen das Vorhandensein in *s* geregelter Keime vor der Blastese der entscheidendsten Neubildungen, nämlich der folgenden: Albit, Quarz, Epidot, Hornblende, Biotit, Granat. In diesen Gesteinen war also eine Schieferung schon vor der kristallinen Mobilisation des Gefüges gut ausgebildet, und zwar als Feinschichtung.

Mit dieser Feinschichtung stimmen alle folgenden Ausgestaltungen der Schieferung überein, sind also eben Ausgestaltungen von Feinschichtung. In manchen Fällen ist diese Feinschichtung vor der Kristallisation bereits gefältelt. In solchen Fällen scheint mir die Wirksamkeit des Rieckeschen Prinzips gegenüber der Abbildungskristallisation ganz zurückzutreten. Dagegen scheint mir auch in dieser Gesteinsgruppe das oben erwähnte Prinzip der leichteren Zirkulation in *s* als ein die Schieferung unabhängig von Druckverhältnissen ausgestaltendes wirksam. Vielleicht könnte man dieses Prinzip mitbedenken, wenn man, wie Hinterlechner, von einer „Potenzierung der Schieferung durch Kontaktmetamorphose“ spricht oder mit schwedischen Forschern gewisse Adergneise als Entmischungsercheinungen deutet, welche ebenfalls vorhandenes *s* weiterentwickeln. Alle solchen Möglichkeiten gehören zur Ausgestaltung eines vorhandenen *s* durch molekulare und nichtmolekulare Teilbewegung in *s*.

12. Glimmerschiefer vom Gehänge der Kramerspitze gegen Senges.

An Gefügeelementen sind vorhanden Quarz, Muskovit (fein), Biotit, Epidot und Erz.

Quarz ist in Lagen angeordnet und zeigt oblonge Körner in *sb*.

Erz in Lagen deutet auf Feinschichtung, Muskovit liegt in *sb*, Biotit zum Teil ebenso, zum Teil aber quer zu *s* mit vorbiotitischem *s* als *si*.

*nd* ist vorhanden als Stauchfältelung. Diese erfolgte nach der Kristallisation der Biotitholoblasten und nach, mit und vor der Kristallisation des Muskovits.

Es war also ein Gefüge da mit Feinschichtung (durch Erz und Opazit noch angedeutet). Es entstanden (vorwiegend quer zu *s*) Biotitholoblasten und umschlossen *si*. Die Blastese von Muskovit in *s* fand statt als Abbildungskristallisation von Feinschichtung. Sodann fand statt *nd*, hauptsächlich als Fältelung. Die Biotite mit ihrer internen Reliktstruktur wurden verlegt (vielfach gedreht). Das vorhandene *sub* wurde durch *nds* noch ausgearbeitet, durch Phyllitisierung der Muskovite.

Die Muskovitkristallisation dauerte aber fort und bildete manche Stauchfalte kristallin ab in Form von Polygonalbögen aus Muskovit.

13. Kalkglimmerschiefer, welcher im innersten Sengestal über dem Kalk und Glimmerschiefer der Sengeser Kuppel folgt, zeigt ein ziemlich regelloses Gefüge aus Kalzit und Quarz zu ungefähr gleichen Teilen und ist ein ausgezeichnetes Beispiel für die typischen Konturen in kristalloblastischen Kalzit-Quarzgefügen. Die Grenze der

Quarkristalloblasten gegen Kalzit ist weichbuchtig und lappig und veranschaulicht die Energie des Quarzes, Tropfen- und Kugelformen im Kalzit zu bilden.

Nachkristalline Beanspruchung wird durch Lamellen und Undulation und durch Trennung der fertigen Muskovite und Biotite deutlich.

14. An einem anderen Glimmerschiefer aus dem Gehänge der Kramerspitze gegen Senges sind als besonders wichtig hervorzuheben größere Epidotholoblasten mit *si* aus länglich tropfenförmigen Quarzen. Dieses *si* ist bei nachepidotischer intensiver Fältelung des Gesteins verlegt worden. Diese lebhaft *nd* im Gefüge hat Muskovit und Chlorit mechanisch gebogen, aber auch nach der Teilbewegung war die kristalline Mobilisation für Glimmer noch so lebendig, daß die vielfach vorhandenen Polygonalbögen die Teilbewegung zu einer jedenfalls vor-kristallinen, d. h. vor Abschluß der Kristallisation erfolgten, stempeln.

Wir fanden also in unseren Beispielen aus der unteren Schieferhülle des Hochfeiler und der Sengeser Kuppel, welche die für unsere Frage wichtigsten Gesteine umfassen dürften, folgendes: Kristalline abgebildete Feinschichtung ist weit verbreitet, parakristalline Teilbewegung häufig. *nd* spielt keine bedeutende Rolle. *nd* ist vor und mit, höchst selten nach der Kristallisation der wesentlichen Neubildungen erfolgt.

### Pfitschtal.

15. Zweiglimmeriger Granatglimmerschiefer von Stein. Quarz bildet ungerundete, sehr scharfkantige, in *sb* oblonge Körner ohne Achsenregelung. Dies gilt sowohl innerhalb als außerhalb der Granaten.

Muskovit bildet kleine Schüppchen in *se*; Biotit große Schuppen in *s* und quer *s*, ohne interne Reliktstruktur und ohne selbst an *si* in Granat teilzunehmen.

*si* der Granaten ist vollkommen unverlegt. An Teilbewegung könnte höchstens etwas *mds* stattgefunden haben. Eine ausgesprochene Abbildungskristallisation von Feinschichtung ist das Bezeichnende.

16. Ein sonst ganz verwandter Typus vom Rotbachspitz am Pfitschjoch zeigt hingegen *nds* nach der Kristallisation: verlegtes *si* der Granaten, welche von *s* fluidal umschlungen sind. Die langgestreckten undulösen Querbiotite nehmen hier im Schriff eine Lage ein mit  $001 \perp s$ , was man durch Streckung nicht erklären kann. Denn sonst müßte ein Druckminimum die Biotite genau ebenso orientieren wie ein lineares Druckmaximum und man müßte annehmen, daß sich der Biotit einmal  $\perp$  zum Druckmaximum stelle, ein andermal  $\perp$  zum Druckminimum.

Diese Querbiotite haben unverlegtes *si* aus Opazit.

17. Seidengrauer Zweiglimmerschiefer ibidem mit Zirkon, Karbonat und Orthoklas.

Quarz bildet gleichmäßig große Körner oblong in *s*, Muskovit kleine Schüppchen ungefähr in *s*, ebenso Erz, Zirkon und Biotit parallel verwachsen mit Chlorit.

Viel Turmalin als scharf ausgebildete Holoblasten in *s*. Karbonat in Rhomboedern mit unregelmäßigen Achsen, oblong in *s*, bildet Holo-

blasten, welche nach Turmalin und Biotit entstanden, aber keinerlei *si* enthalten. Sie scheinen im Entstehen die anderen Minerale zu verdrängen.

18. Im Überwassergraben bei St. Jakob steht Chloritquarzit bzw. Glimmerschiefer an, welcher in *sb* oblonge Quarzkörner, Chlorit und Titanit zeigt und namentlich durch Karbonat in *s* deutlich gemachte Feinschichtung.

19. (Fig. 14.) Im Graben nördlich über St. Jakob tritt Biotit-epidotamphibolit als Kontaktmetamorphose aus Amphibolit auf am Kontakt mit Aplit.

Hierbei ist ein sedimentäres *s* durch Erz bezeichnet. In etwas größerer Ferne vom Kontakt ist der Biotit streng in *s* angeordnet, Quarz oblong in *s*. Allernächst dem Kontakt aber ist jederlei *s* verschwunden.

In etwas größerer Entfernung aber ist eine gewisse „Potenzierung“ der Schieferung durch Kontaktmetamorphose (Hinterlechner) tatsächlich bei der Biotitisierung der Hornblende erfolgt und läßt sich als eine Kontaktmetamorphose anderer Art von der regellosen Biotitisierung nächst Aplit unterscheiden.

*nds* ist vorhanden und hat größere Hornblende (ohne *si*) betroffen.

20. Muskovitglimmerschiefer in demselben Graben zum Teil in extrem tektonischer Fazies.

Das Kleingefüge zeigt *sb* ohne *sr*. Nähere Untersuchung ergibt, daß hier Blastomylonite mit *nds* und *nds* vorliegen. *nds* ist vor Ende der Kristallisation erfolgt.

Der Quarz ist oblong in *s*, Muskovit liegt fast zusammenhängend linealscharf in *s*. Es besteht das charakteristische Bild der Kristallisationsschieferung, welche der Verfasser hier als eine von molekularer und nicht molekularer Teilbewegung in *s* ausgestaltete Feinschichtung auffaßt. Epidot, Turmalin und Zirkon liegen streng in *s*. Größere Quarzkörneraggregate (wahrscheinlich Geröllchen) liegen umflossen von *s*.

21. Was über diesem Gesteine folgt, ist Gneis mit *nds* und *nds*. Am Feldspat wird es sehr deutlich, daß *nds* vor und mit der Kristallisation erfolgte. Wir bemerken einerseits deutliche, mechanische Verflößung von Fragmenten, anderseits gänzliche Kristallisation jeder mechanischen Deformation, so daß keine Glimmerbiegung etc. sichtbar ist. Erz und Quarz bilden *si* in Epidot, so daß wahrscheinlich auch dieses Gestein ein Paragestein mit ausgestalteter Feinschichtung ist.

22. (Fig. 12.) Graphitglimmerschiefer mit Rhätizit und Quarzgeröllchen, Grubenwald, Pfisch.

Hier ist die Feinschichtung durch Graphit bezeichnet, durch Muskovit und in *sb* oblonge Quarze ausgestaltet. Wo die größeren Quarze noch in Form einer Sedimentärbreccie liegen, ist auch von einem *s* des Muskovits nichts zu sehen. Das *s* des Muskovit und Quarz ist in diesem Gestein nur vorhanden, wo Feinschichtung vorhanden war und solcherart als kristalline Abbildung von Feinschichtung gekennzeichnet.

23. Die Greiner Schiefer aus der Floite (Zillertal) zeigen ausgezeichnetes *s* mit oblongen Quarzen, Hornblende, Muskovit und Biotit in *sb*. Ferner aber auch große Biotitholblasten, welche Granaten einschließen, welche noch jetzt in diesem Gestein in gleicher Größe überall verteilt wird. *si* fehlt diesen Biotiten. Sie gehören, da sie die vollkommen fertigen Granaten umschließen, der späteren Blastese an. Sichere Zeichen für *ds* fehlen. Nachkristallines *ds* läßt sich ausschließen.

24. Dagegen läßt sich *ds* vor und mit der Kristallisation und damit Blastomylonitcharakter sehr gut in der tektonischen Fazies der „Konglomeratgneise“ vom Pfitschjoch nachweisen.

Quarz und Albit sind oblong in *s* bis isometrisch, Biotit liegt in Gestalt größerer und gefranster Fetzen in *s*; Muskovit in *s*.

Die Glimmer zeigen keine näherungsweise Eigenform (wie sonst an diesen Holblasten zu sehen ist), sondern Zerfransung und Siebstruktur. Über die Bedingungen der verschiedenen starken Energie zum reinlichen Auskristallisieren läßt mein Tauernmaterial noch keine Schlüsse zu.

Authigene Turmalinholblasten sind vorhanden. *ds* vor bis mit der Kristallisation ist besonders durch die verflachten „Knöllchen“ illustriert.

### Sterzing, Pflersch, Ridnaun.

Es ist zu beachten, daß die jetzt anzuführenden Gesteine 25—33 tektonisch nicht der unteren Schieferhülle angehören, sondern noch über dem Kalkphyllit folgen, welcher die Zentralgneise und ihre Schieferhülle bedeckt.

Die tektonische Stellung von 27 ist nicht klar; 31, 32 sind auch stratigraphisch nicht mit Sicherheit zur unteren Schieferhülle zu rechnen.

25. Im Profile von Schmuders bei Sterzing findet man einige Schiefer, in welchen im Gegensatz zu den weitaus meisten der bisher beschriebenen starke Teilbewegung in *s* nach der Kristallisation die Hauptrolle spielt.

Der liegende Schiefer (Biotit, Chlorit, Quarz, Plagioklas, Epidot) zeigt regellos durcheinandergemetetes *s* ohne irgendeine Regel und mit ganz unbedeutender Rekrystallisation.

Darüber folgt ein Muskovit-Quarzit. Der Quarz ist unscharf konturiert, verzahnt und bildet oblonge Körner bis Lagen in *sr* mit durchgreifender Quarzgefügeregel. Muskovit streng in *sr* als Fetzen. Albit oblong in *sr*. Es handelt sich um einen Phyllitmylonit ohne Reliktstrukturen mit starkem *nds* nach der Kristallisation, wobei die Quarzgefügeregel ausgebildet wurde. Geringe Rekrystallisation.

Nicht so durchgreifend ist die Quarzgefügeregel in dem Biotit-epidotgneis mit Quarz und Feldspatungen, welcher über dem Quarzit folgt. Auch dieses Gestein zeigt stärkste *nds* nach der Kristallisation.

26. (Figur 11) Muskovitglimmerschiefer mit Querbiotit und Granaten (Greiner Schiefer) aus dem obersten Teile des Grabens zwischen Flans und Tschöfs (nördlich Sterzing).

Quarz etwas oblong in *sb*, Achsen ungerichtet. Muskovit und Biotit zum Teil in *sb* bedingen schon die oblonge Quarzkörnerform, da der Quarz nicht quer durch den Glimmer wachsen kann. Auch rein mechanisch dürfte übrigens für den wachsenden Kristall die Wegsamkeit in *s* in sehr vielen Fällen eine bessere sein als quer *s* und also deshalb dieser Weg eingeschlagen werden, wobei *s* weiter ausgestaltet wird. Die Granatloblasten mit *si* (scharfeckige, meist isometrische Quarze, Erz) sind in diesem Gestein sehr deutlich oblong in *s* angelegt, was ich durch die leichtere Zirkulation und Stoffzufuhr in *s* erklären möchte. Es besteht kein Grund, anzunehmen, daß etwa zuerst ein isometrisches Granatkorn vorgelegen hätte oder daß sich Granat überhaupt nach einem Drucke orientiere. Anzeichen von Teilbewegung sind keine vorhanden, *si* ist unverlegt. Das Gestein ist bei mangelnder Teilbewegung ein gutes Beispiel für steigende Abbildungskristallisation älterer Feinschichtung.

27. a) Wald über Gasteig bei Sterzing. Ein Glimmerschiefer mit sehr starken Glimmerlagen (Greiner Schiefer) zeigt *sb* stark ausgearbeitet durch *ds*. Hierbei entstanden an Stelle der Glimmergebälke vielfach Glimmergeflechte. Dementsprechend zeigt auch der in *s* oblonge und verzahnte Quarz lokal die Quarzgefügeregel. Es ist also auch hier *ds* nach der Kristallisation festzustellen.

b) Ein gefalteter Ankeritgrünschiefer, ebendort, zeigt starke *d* (Faltung und *nds*) deutlich nach der Kristallisation. Die Faltung ist gänzlich durch Biegung und Geflechtbildung der Glimmer erreicht. Quarz liegt oblong in *sr*, die Epidote sind zertrümmert.

28. Von den Typen der unteren Schieferhülle, welche an der Schleierwand bei Gossensaß über dem Tribulaundolomit liegen, sind hier zwei anzuführen, welche in das Verhältnis zwischen Kristallisation und Teilbewegung Einblick geben.

a) Ein Albit-Karbonatschiefer (mit Muskovit und Quarz) zeigt *nds* nach der Kristallisation mit Verlegung des bekannten *si* in Albit und Störung des Karbonats. Der unregelmäßig in *s* angeordnete Muskovit ist weniger verletzt.

b) (Figur 9.) Dagegen zeigt ein Amphibolit (Greiner Schiefer) kaum Spuren von Durchbewegung. Feinschichtung ist durch Erz sehr gut bezeichnet. Ankeritisches Karbonat ist parallel hierzu in *sb* oblong gewachsen. Muskovitgeflechte liegen in *s*. Dagegen liegt die Hornblende mit ganz ungerichteten Achsen vor in Gestalt großer Holoblasten mit im allgemeinen unverlegtem *si* aus Erz, Quarz, Chlorit und Muskovit. Ein vor dem Auftreten der Amphibole feingeschichtetes Gestein ohne stärkeres *ds*.

29. Im Garbenschiefer von der Telferweißen liegt Quarz etwas oblong in *s*, Serizitfilz streng in *s*; stark umgewandelte Hornblendeholoblasten mit *si* liegen ebenfalls in *s*. *si* enthält Quarz, wie in *se*, aber nichts von dem reichlichen Muskovit in *se*. *si* ist unverlegt, aber starke *ds* nach der Kristallisation vorhanden und durch fluidale Anordnung der Glimmerfilze und Quetschung der Hornblende erkennbar. Sehr gutes Beispiel für Ausarbeitung kristallisierter Feinschichtung

durch *nds*. Die Kristallisation des Muskovits hat die Zerreißung der Hornblende überdauert und solche Risse verheilt.

30. (Figur 3.) Granatphyllit über dem Tribulaundolomit des „Pferscher Kalkkeiles“.

Dieses Gestein (Muskovit, Quarz, Chlorit, Granat) ist ein Musterbeispiel für intensivste Teilbewegung im Gefüge in Form von Umfaltung und *nds* im gänzlich umgestellten *s*. Auch hier fand die Teilbewegung nach der Kristallisation statt.

Die Kristallisation hatte einen ziemlich hohen Grad erreicht. Dieser Phyllonit ist aus einem Glimmerschiefer hervorgegangen, dessen Glimmer schon gut balkenförmig kristallin war. Das ergibt ein charakteristisch anderes Bild als bei Umfaltung wenig kristalliner Phyllite.

Quarz zeigt intensivstes *sr* mit unscharf konturierten verzahnten Körnern.

Glimmer zeigt Umfaltung mit Zerstörung der Scharniere durch *nds* im umgestellten *s*. In da und dort noch erhaltenen Scharnieren ist auch noch die Balkenstruktur des Glimmers erhalten geblieben im Gegensatz zu dem unscharfen verschmierten Bild der Glimmergeflechte. *ss* durch Erz angedeutet.

31. Glimmerschiefer mit Quersbiotit (und Chlorit) unter dem Tribulaundolomit von Vallming bei Gossensaß.

Quarz scharf verzahnt oblong in *s*, ohne Regel. Besonders einzelne Quarzkörner und Linsen mit grobkörnigem Gefüge und starker Ausplättung in *s* weisen auf vorkristalline *ds*.

Muskovit bildet Geflechte in *s*. Biotitholblasten mit *si* (Quarz) und oft quer *s* gestellt, zuweilen von *nds* deformiert und chloritisiert.

Die Granatholblasten mit *si* (Quarz) zeigen Musterbeispiele für Scharang der Granaten bis zur Entstehung größerer.

Es ist also Feinschichtung durch *si* im Granat und Biotit angedeutet (sehr feinkörniger Quarz). *ds* fand statt. Biotit- und Granatholblasten traten auf. Kristalline Abbildung von *s*. *nds* nach (vielleicht noch mit) der Kristallisation.

Ein zweites Gestein, ebendort, ist gänzlich von *nds* nach der Kristallisation beherrscht. Quarz und Plagioklas liegen scharf verzahnt und zerpreßt in *sr*. Muskovit schlingt sich in trüben, fluidalen Geflechtem um zerpreßte Quarz-Feldspatknollen. Das Gestein kann ein Orthogneis gewesen sein.

32. Granatglimmerschiefer aus dem Alrisstal (Pfersch). Quarz liegt oblong in *s* ohne Achsenregel mit klaren Konturen verzahnt. Muskovit und zum Teil auch Biotit bildet fluidale Geflechte. Außerdem liegt Biotit vor in Gestalt mit Chlorit parallel verwachsener, deformierter Holblasten quer zu *se* mit verlegtem *si* (Quarz). Die Granatholblasten blieben gut erhalten trotz lebhafter *nds* nach der Kristallisation.

33. Giggelberggraben bei Schelleberg. Im oberen Teile dieses Grabens steht phyllitischer Glimmerschiefer an mit *nds* anscheinend aber vor Abschluß der Kristallisation erfolgt. Quarz ist scharf verzahnt, in *s* oblong, ohne Regel. Muskovit bildet fluidale Geflechte in *s*. Größere

Biotite sind dagegen wenig mechanisch beeinflusst. Sie nehmen Lagen ein, welche durch beliebige Drehung von (001) um eine in *s* gelegene Achse entstehen. Granat scharf und unversehrt.

### Brenner bis St. Jodok.

Hiermit kehren wir aus der tektonisch höher liegenden, über dem Kalkphyllit folgenden „unteren Schieferhülle“ des Sterzinger Beckens in die über den Gneisen folgende untere Schieferhülle zurück, welcher diese Bezeichnung auch hinsichtlich ihrer tatsächlichen Lagerung zukommt. Nur 35 liegt über dem Kalkphyllit.

34. a) Zweiglimmergneis unmittelbar unter dem Kalk der Kalkwand am Brenner,

Quarz und Plagioklas (nahe Albit) zeigen oblonge Körner in *sb*. Die Glimmer zeigen Gebälke und Polygonalbögen in dem hiernach vor der Kristallisation gefalteten *sb*. Hierbei nähert sich das Gebälk zuweilen etwas einem Glimmergeflecht als Anzeichen nachkristalliner Teilbewegung. Nirgends aber reicht diese als Differentialbewegung der kleinen Faltenbögen quantitativ aus. Es erfolgte also Abbildungskristallisation eines gefalteten *s*. Lokal überdauerte die fältelnde Gefügebewegung die Kristallisation der Glimmer.

b) Amphibolit ebendort zeigt *sb*.

c) Folgende bereits bei anderer Gelegenheit beschriebenen Gesteine des Profils Kalkwand–Landshuterhütte lassen keine nachkristalline Teilbewegung erkennen:

Paragneis und Kalzit zwischen Schlüsseljoch und Flatschspitze; *ds* vor Schluß der Kristallisation.

Blastophyllonit (phyllitisierter Augengneis) vom Gneiskontakt Griesbergalm; *ds* vor Schluß der Kristallisation.

Aplitgneis und Biotitgneis vom Wildseespitz.

35. a) Quarzphyllit, Wechselalm am Brenner, zeigt Quarz, Muskovit und Graphit in guter Feinschichtung. Quarz ist nicht oblong in *s*. Muskovit bildet Geflechte was auf *nds* hinweist.

Greiner Schiefer von der Wechselalm zeigt Quarz unscharf verzahnt oblong in *sr* mit ausgezeichneter Quarzgefügeregel. Letztere also hängt wieder zusammen mit starker *nds* nach der Kristallisation und wie in anderen Fällen mit einer eigenartig wolkigen Ausböschung am Quarz mit anomalen, beinahe an Turmalin erinnernden Interferenzfarben. Dieselbe Teilbewegung hat aus den Glimmern Geflechte mit fluidalem Verlauf gemacht. Unversehrter, authigener Turmalin ist als letzte Bildung wichtig. Erz.

Es war Feinschichtung vorhanden mit Erzlagen und großen Einzelquarzen (Geröllchen?). Sodann erfolgte die Glimmerbildung, dann *nds*, dann die Turmalinbildung.

b) Drei quarzitähnliche, feldspatreiche Gesteine von der Steinalm zeigen stärkste *nds* nach der Kristallisation. Nur in einem Falle ist der Kalzit jünger als diese mylonitisierende Durchbewegung.

36. Wir betrachten nun die Verhältnisse am Sillesschartl, wo eine bedeutende Wiederkehr der hochkristallinen Greiner Schiefer über der untersten Marmorlage vorhanden ist.

a) Der über diesen Schiefeln liegende Quarzphyllit zeigt als Zeichen starker *nds* fluidales Muskovitgeflecht mit Scharnieren. Welchen Grad die Kristallisation vorher erreicht hatte, läßt sich nicht bestimmen. Die durch *nds* ausgearbeitete Feinschichtung ist namentlich durch graphitische Substanz bezeichnet.

b) Schwarzer, gefalteter Albitphyllit wie in der Hochfeilerhülle.

Das Grundgewebe ist ein Geflecht von Glimmern (Muskovit; etwas Chlorit) mit spärlichen Zwischenlagen oblonger Quarzkörner und opazitischer Lagen, welche Feinschichtung bezeichnen.

Nachdem die Kristallisation dieses *ss* einen gewissen Grad erreicht hatte und auch *nd*, Fältelung, schon da und dort begonnen hatte, traten große, amöboid umgrenzte Holoblasten feinstlamellierten Albits auf und umschlossen *si* (Quarz, Graphit, Muskovit), wie es scheint unter teilweiser Aufzehrung der Glimmer und Quarze. Weitere Faltung ging nur da und dort als *nd* mit Biegung der Glimmer vor sich und mit Stauerscheinungen an den Albiten. Wir haben also: *ss, sab; nd* vor und nach der Albitisation. Die starke, voralbitische Fältelung ist nach der Muskovitbildung erfolgt. Die nachalbitische Fältelung ist im Ausmaß unbedeutend. Das Gestein ist ein Beispiel für parakristallin durchbewegtes Gefüge.

c) Auch ein Glimmerschiefer aus dem Sillesschartl zeigt nachmuskovitisches *nds* durch Glimmergeflechte angedeutet.

d) Ein anderer Greiner Schiefer, ebendort, Amphibolit mit Karbonat zeigt mechanisch unversehrtes, regelloses Amphibolgebälk. Es fehlt also jede *nd* nach der Bildung der reliktfreien Amphibole. Auch das Karbonat ist ungestört. Zirkon, Erz, Chlorit und Quarz bilden ein feines *s*-Gefüge, aus welchem sich hinsichtlich eventuell vorkristalliner Teilbewegung nichts entnehmen läßt. Sicher keine Bewegung nach der Kristallisation.

e) An einem Kalkglimmerschiefer läßt sich lokal starke Kataklyse des Quarzes mit unscharfer und scharfer Verzahnung als Zeichen von *nds* feststellen; auch Muskovitgeflechte scheinen mir so aufzufassen. Aber auch hier fand nach *nds* noch Kristallisation statt wie die unversehrten Karbonate und der mit diesen im charakteristischen blastischen (rundlappigen) Kontakt stehende Quarz beweist. Also ein Typ mit vorkristalliner *nds*.

f) Quarzit. Zeigt schwach oblonge Körner ohne Zeichen von *ds*, Feinschichtung durch Lagen größerer Körner, welche als *si* auch durch Granaten ziehen. Diese sind oblong in *s*, ohne daß ein Grund besteht, etwa ihre Ausflachung anzunehmen oder daß sie unter Druck so wuchsen. Hier wie bei Gestein Nr. 26 scheint mir am besten anzunehmen, daß die Granaten deshalb vorzugsweise in *s* fortwuchsen, weil der Gesteinsquerschnitt quer zu *s* mehr Intergranularen enthält als der Schnitt in *s*. Intergranularen im Gesteinsgefüge sind die Körnergrenzen. Wer Zirkulation von Lösung im Gestein annimmt, der kann sich nicht die Kristalle, sondern schließlich nur die jeweiligen Intergranularen als Wege denken, wonach mir die Bedeutung der Richtungen mit reichlicheren Intergranularen zu beachten scheint. Die Wegsamkeit der Intergranularen bei kristalliner Mobilisation des

Gesteins läßt sich auch für andere Fälle als für den hier als Beispiel herangezogenen zeigen, was bei anderer Gelegenheit versucht werden soll.

g) Biotitglimmerschiefer (Greiner Schiefer).

Quarz ist sehr stark oblong in *sb* (bis 1:10) ohne Achsenregel, scharf verzahnt bis glatt in den Umrissen. Muskovithäute in *s* bilden zuweilen Geflechte unscharfer Blättchen, manchmal fluidal angeordnet und weisen so auf *ds*.

Biotit liegt zum kleinen Teile in kleineren Fetzen in *s*, meist in großen Exemplaren oblong in *s* mit Winkel  $001:s = 45^\circ$ ; zuweilen unzulös und mit Zeichen der Pressung  $\perp s$ . Erz bezeichnet Feinschichtung.

Diese ursprünglich vorhandene Feinschichtung erfuhr Abbildungskristallisation und sodann *ds*, welche als *nds* auch die Biotite verletzte. Jedoch entstand ein sich vielfach idealer Kristallisationschieferung näherndes Bild. Denn die Kristallisation dauerte nach *ds* noch fort, wie besonders die unversehrten Karbonatholblasten zeigen. Dagegen erzielte diese Kristallisation keine Verwandlung der parakristallin deformierten Glimmergeflechte in Gebälke. Es ist für die Gesteine vom Sillesschartl charakteristisch, daß die Karbonat (Kalzit — Ankerit) Kristalloblasten auch dann noch unversehrt sind, wenn die Glimmer deutliche Spuren von *nds* zeigen. Die Mobilisation des Karbonats überdauerte die der Glimmer (Biotit, Chlorit, Muskovit).

h) Zu erwähnen ist noch ein Glimmerschiefer, in welchem *nds* nach der Kristallisation in den fluidalen Glimmergeflechten gänzlich vorherrscht. Der Quarz zeigt starke Kataklyse.

Die Teilbewegung in den tektonischen Fazies vom Sillesschartl ist also selten vor, hauptsächlich mit bis nach der Kristallisation erfolgt, und zwar öfter nach der Glimmerbildung und vor der Bildung der Albit- und Karbonatholblasten.

37. (Fig. 8.) Biotitglimmerschiefer unter dem Marmor der Saxalpenwand.

Allgemein zeigt sich an den großen Biotitholblasten (mit *si*) eine nur durch gewaltsame *nds* überwundene Tendenz des Biotits, quer zu *s* zu wachsen, im großen Gegensatz zu Muskovit. Die Kristallisation des Biotits überdauerte hier *ds*, denn es wachsen ganze Rasen unversehrter Biotite quer zu *s*. Allgemein tritt ferner hervor, daß die Quarzkristalloblasten in nächster Nähe von Biotit viel größer werden.

38. a) Granatphyllit (Greiner Schiefer), Huttnerbergalm, Brenner.

Die Granaten enthalten *si* (Quarz, Erz) als Zeichen von Feinschichtung. Fluidale Faltung von Glimmergeflecht erweist starke *nd* nach der Kristallisation.

b) In Kalkglimmerschiefer, ebendort, hat die nachkristalline Teilbewegung auch noch den Kalzit ergriffen.

c) Ganz dasselbe gilt von den kalkhaltigen Grauwacken.

d) Ebenso hat in Glimmerschiefer mit Querbiotit starke, nachkristalline *nds* die Muskovite zu fluidalen Geflechten gemacht, die Querbiotite zerknetet und das Quarzgefüge geregelt.

Umfaltung mit zerrissenen Scharnieren. Es ist das beste Beispiel für nachkristalline Phyllitisierung eines hochkristallinen Greiner Schiefers. Hierbei ist die mechanische Widerstandskraft der Granaten besonders hervorzuheben.

Für die Gesteine im Bereiche der Huttnerbergalm ist also im Gegensatz zum Sillesschartl *nds* nach der Kristallisation (inklusive Kalzit) das Bezeichnende.

39. Bei der Ploderalpe, Tscheich, zeigt der amphibolitische Grenzgneis keine Spuren nachkristalliner Teilbewegung. Glimmerschiefer (Greiner Schiefer) einige Dezimeter mächtig zwischen diesem Grenzgneis und dem folgenden Marmor zeigt *sb* mit oblongen Quarzen und lokal in Geflechte verwandelten Glimmern. Also Spuren von *nds* nach Glimmer. Aber die Falten mit polygonalem Glimmergebälke erweisen die Teilbewegung als eine von der Kristallisation zeitlich überholte.

Der nun folgende Marmor zeigt unversehrtes *sab* aus lappigem Quarz und aus Kalzit.

40. Schiefereinlage im Zentralgneis bei der Gera-Hütte.

Quarz oblong (bis 1 10) in *s*. In dieser Form bereits im unverlegten *si* der Granaten. Dieses *si* enthält Quarz und Erz, der in *se* reichliche Muskovit fehlt. Ein Paraschiefer mit *sab* ohne Spuren nachkristalliner Teilbewegung.

### Von St. Jodok nach Osten.

41. a) Ottenspitze, Schmirntal, Albitglimmerschiefer. Quarz ist in *s* oblong ohne Achsenregel, ebenso in *si* des Albits, aber mit viel kleineren Körnern. Muskovit liegt in *se* als gefaltetes Geflecht, in *si* (im Albit) sehr selten als kleine, unversehrte Schüppchen. Albitholoblasten ohne *si* freie Schale. Karbonat in *s* unversehrt.

Es fand also Abbildungskristallisation statt von Feinschichtung unter Ausbildung von oblongem Quarz, Muskovit und Tonschiefer-nädelchen. Sodann Fältelung. Dann Albitisation mit Umschließung des bisherigen *s* als *si*. *se* wuchs weiter begleitet von *nd*: es fanden noch Biegungen im Glimmergeflecht zuweilen Verlegung von *si* statt. Zuletzt ging die Kristallisation des Karbonats vor sich. Parakristalline *nd* fällt also zeitlich zwischen die Kristallisation des Glimmers und des Karbonats.

b) Dagegen zeigt ein Gestein gleicher Zusammensetzung mit Ankeritholoblasten vom Gammerspitz stärkste *nds* nach der Kristallisation.

Man sieht stärkste Kataklyse an Quarz und Albit (ohne die geringste chemische Metamorphose) und ein ausgezeichnetes Beispiel für Verwandlung eines da und dort noch erhaltenen hochkristallinen Glimmergebälks in fluidale Geflechte. Die Ankeritholoblasten haben in diesem Falle das durch die Teilbewegung gebildete *sr* als *si* umschlossen, sind aber auch selbst von *nd* noch etwas mitgeriffen.

c) In einem benachbarten noch ankeritreicheren derartigen Glimmerschiefer tritt *nds* nach der Karbonatbildung noch viel deutlicher hervor.

d) Auch ein Greinerschiefer vom Gammerspitz zeigt sehr gut *nds* nach der Kristallisation von Glimmer und Quarz, und zwar starke Umfaltung mit *d* im umgestellten *s*.

e) Gneis vom Hohen Nopf mit stärkster *nds* am Quarz und Muskovit. Reste von schon ziemlich hochkristallinem *sb* (Muskovit?) lassen das Ausgangsgestein dieses Tektonits besser als Gneis bezeichnen denn als Porphyroid, trotz vorhandener Porphyrquarze mit Buchten.

f) Nicht so ausgesprochen nachkristallin ist die Teilbewegung im Kalkglimmerschiefer über dem höheren Marmor des Kahlen Wandkopf (Quarz, Muskovit, Kalzit). Quarz ist scharf verzahnt, Glimmer hält zwischen Gebälk und Geflecht die Mitte. Karbonat ist unverletzt. Starke *ds* zum Teil *nds* ist bezeichnend.

Es ist also *nds* nach der Kristallisation für die Gesteine des Kammes Kahler Wandkopf—St. Jodok das Bezeichnende. Nur die Karbonatkristallisation hat die Teilbewegung bisweilen noch überdauert.

42. (Fig. 1.) Selbst in den Lagen im Zentralgneis des Kahlen Wandkopfes, in phyllitisierten Biotitschiefern und Gneisen herrscht hier die nachkristalline Teilbewegung vor.

Man sieht Quarz oblong, scharf und unscharf verzahnt in *sr*, lokal mit geregelten Achsen. Biotit und Muskovit bilden Fetzen in fluidalen Geflechten. Die Feldspate sind zertrümmert. Es ist hier wie in zahlreichen anderen Fällen von *nds* nach der Kristallisation hervorzuheben, daß diese Biotitphyllonite keine Diaphorite sind, da ihnen deren mineralogische Kennzeichen fehlen. Man begegnet namentlich bei petrographisch nicht vorgebildeten Geologen einer mißverständlichen Gleichsetzung von Diaphorit und tektonischer Fazies eines kristallinen Schiefers, weshalb solche Beispiele bemerkenswert sind.

### Von Kasern im Schmirntal nach Osten.

43. a) (Fig. 13.) Granatschiefer mit Biotit, Südgrat des Kleinen Kaserer.

Dieses Gestein besteht fast gänzlich aus Granat. Biotit bildet unversehrtes, hochkristallines Gebälk in *sb*, an Granat haarscharf absetzend, wenn er ihn quer trifft. Wachsende Granaten können das ganze Biotit-Quarz-Gefüge zwischen sich schließen als *si*. Quarz zeigt auch bei sicheren Holoblasten, welche ungestört als Füllung von Sprüngen wuchsen, scharfe Verzahnung, deren Auftreten demnach nicht mechanische Einflüsse voraussetzt. Kein Zeichen von *ds* ist vorhanden. Feinschichtung in *se* und in *si* durch Erz, Quarz und wenig Biotit bezeichnet, durchzieht ungestört die Granaten.

Die Feinschichtung wurde durch Biotitgebälk hochkristallin. Granatlagen in *sb* traten auf und schlossen noch Reste von *sb* mit Biotit zwischen sich ein. Sie umwucherten *sb* (ohne Biotit) als *si* vollkommen. Der Biotit von *se* schneidet in solchen Fällen am Granat haarscharf ab (entweder aufgezehrt oder jünger als Granat?).

Sowohl Erz als Quarz und namentlich Biotit sind noch kristallin mobil geblieben als die Granaten fertig waren und von scharfen Sprüngen durchsetzt wurden. Denn diese Sprungnetze sind durch Quarz, Erz und Biotit verheilt.

b) Ebensowenig wie in diesem Gestein ist in benachbartem Kalkglimmerschiefer anderes als kristallisierte Feinschichtung durch Kalzit und Erzlagen bezeichnet nachzuweisen.

Gleiches gilt von Biotitquarzit aus dem Hintergrund des Wildlahnertales (Bachbett).

44. Dagegen zeigen die Gesteine im Liegenden also noch näher am Gneis und die Gneise zwischen Kaserer und Olperer starke *ds* vor und während der Kristallisation.

So zwei Typen vom Südgrat des Kleinen Kaserer. Das eine Gestein zeigt *nds* in Form von Zertrümmerung und jenem körnigen Zerfall der Feldspate, welchen Ohnesorge aus dem Hocheder beschrieb (Verhandlungen der k. k. geol. R.-A.), *nds* ist in diesem Falle älter als die Glimmerkristallisation, im zweiten Fall älter als Glimmer und Karbonat. Dasselbe Verhältnis zwischen parakristalliner Teilbewegung und Bildung unversehrter Glimmer zeigen zwei Gneise aus dem Verbindungsgrat zwischen Kaserer und Olperer und ich führe bei dieser Gelegenheit an, daß mir Herr Dr. Ohnesorge die vollkommene Übereinstimmung meiner Proben von Olperergneis mit jenen Hochedergneisen hervorhob, an welchen er den körnigen Zerfall der Feldspate beschrieb, welche nach Einsicht der Präparate im Sinne dieser Ausführungen als eine besondere Form von *nds* zu bezeichnen wäre.

45. Stellenweise, so im Porphyrgneis der Tuxer Klamm und des Krierkars, findet man auch in den liegendsten Gneisen nachkristalline Teilbewegung ganz vorherrschend neben Gesteinen mit vorkristalliner *nds* (Biotitgneis unter dem Kalk der Tuxer Klamm; Friesenbergscharte, nördl. Friesenbergscharte; Rifflerscharte). Diese Gesteine werden hier nur kurz erwähnt, da sie mit anderen schon im Jahrbuch der geol. Reichsanstalt beschrieben sind. Wie dort ausgeführt, handelt es sich bei den damals beschriebenen Glimmerschiefern und Gneisen des Bereiches St. Jodok—Ost um tektonische Fazies, an welchen *ds* durch fluidale Linien und linsenförmiges Verflachen der Elemente in *s* sehr deutlich wird. Bezüglich der weiter vom Zentralgneis entfernten Gesteine gilt, daß nachkristalline *nds* schon ziemlich große Glimmerkristalloblasten vorfindet und in Geflechte verwandelt (z. B. Gneise von Frauenwand und Tuxerjoch). Dagegen zeigen die gneisnäheren Typen und der Gneis selbst im allgemeinen mehr und mehr vorkristalline und parakristalline Gefügebewegung. Ob in solchen l. c. Blastomylonite genannten Typen, in welchen Kristallisation und *nd* gleichzeitig auftrat, die Kristallisation eine Teilbewegung oder lediglich kristalline Abbildung nach *ds* ist, das wage ich derzeit noch in zahlreichen Fällen nicht zu entscheiden. Wahrscheinlich ist, daß beides vorkommt, aber es scheint mir daß Abbildung (Rekristallisation) nach der Deformation ganz sicherzustellen ist und häufiger vorkommt.

46. Unter dem Marmor des Schmittenberges, an dessen orographisch linker Seite liegt Muskowitgneis mit Umfaltung. Diese zeigt einen Zwischentypus zwischen Polygonalbögen und Glimmerbiegung, welche letztere häufig vorkommt, aber als *nd* der Faltung nicht ausreicht. Im wesentlichen hat diese Umfaltung die Glimmer

schon in gut kristallinem Zustand getroffen und auch größere Glimmerscheite gebogen. Die Umfaltung ist am besten als parakristallin aufzufassen.

Schon im gleichen Gesteine überwiegt aber an anderen Stellen nachkristalline *nds* (fluidale Glimmergeflechte und *sr*) und nur die Kristallisation des Kalzits hat noch nachher stattgefunden.

47. Begeben wir uns nun aus diesen Gneisen unter dem Marmor in die über den Marmor gefalteten Gneise des Höhlner, so finden wir in zahlreichen Schlifften nur noch Muster für gänzlich nachkristalline *nds*. Es sind Mylonite mit starker Kataklase, ausgezeichneter Quarzgefüge, fluidalen Geflechten der Glimmer (auch des Biotit) und Haarspalten (Zugrissen) quer zu *s*. Nur in einem Falle wurde noch unversehrter Quarzit gefunden.

So finden wir in einem letzten Beispiel auch durch die diesmal beschriebenen Gesteine die Regel bestätigt, daß die nachkristalline Teilbewegung mit der Entfernung vom Gneis herrschend wird; eine Regel, deren Ausnahmen mit angeführt wurden. Sie harmoniert damit, daß wir nachkristalline Teilbewegung auch in der über dem Kalkphyllit folgenden ehemals schon hochkristallinen „unteren Schieferhülle“ westlich von den Tauern fort immer antrafen. Im Zusammenhange mit der Tektonik kann man wohl sagen, daß in den ehemals nach Grad und Art der Kristallisation und stratigraphisch der unteren Tauernhülle angehörigen Gesteinen nachkristalline Differentialbewegung um so wichtiger wird, je höher sie tektonisch über den Gneisen liegen.

### Schneeberger Zug.

Die stratigraphische Zugehörigkeit dieses altbekannten Schieferzuges zwischen Sterzing und Similaun zur unteren Schieferhülle wurde durch Unterscheidung der ihn zusammensetzenden Glieder fester begründet. Hier werden nur die für unsere Frage dienlichen Gesteine des Schneeberger Zuges erwähnt, welche aber den stratigraphischen Charakter als untere Tauernhülle nebenbei miterweisen mögen um so mehr, als auch der vorkristalline Charakter des Gesteins beachtet wird.

Nicht mit Sicherheit zur unteren Schieferhülle ist jedoch zu rechnen Nr. 50 aus Ratschinges, ein Gneis, welcher vollkommen grauem Ötztaler Gneis aus Pfossen gleicht.

48. Zweiglimmerschiefer im Graben zum Wetzelswald Innerridnaun.

Quarz oblong in *sb*; keinerlei *sr*.

In Granatholblasten unverlegtes *si*. Zeichen für *nd* fehlen.

49. a) Amphibolit unter dem Marmor von Innersridnaun (orographisch linke Talseite).

Feinschichtung ist sehr gut durch Erz bezeichnet und durchzieht unverlegt als *si*, zusammen mit Quarz, die vollkommen regellos angeordneten Hornblendeholblasten. Letztere sind ohne jede Beziehung zu *s* und ohne *s* irgendwie zu stören kreuz und quer gewachsen. Es gibt kein Zeichen für Teilbewegung; sicher keine Bewegung nach der Hornblende.

b) Gleiches gilt von Albitamphibolit, Graben über Bacherbauer, Innerridnaun. Ebenso von Biotitgranat-Amphibolit vom Schneeberg, in welchem letzterem jedoch die Hornblende einigermaßen in *s* liegt, mit Siebstruktur durch reichliche Aufnahme von *si*.

50. Gneis unter dem Marmor von Häusern in Inner-Ratschinges. Dieser Zweiglimmergneis (Biotit und Muskovit) mit chloritisierten Granaten und dunklem Epidot zeigt reines *sb*. Quarz ist oblong in *sb*, aber hier wie in anderen Fällen nur dort, wo Glimmer da ist. In solchen Fällen scheint mir das Prinzip von der besseren Wegsamkeit von *s* dem Rieckeschen hinsichtlich der oblongen Quarze vorzuziehen.

51. a) (Fig. 10). Graphitschiefer mit Rhätizit und Granat, Hangend des Marmors in der Zirmaidscharte Inner-Ratschinges.

Rhätizit und Granat haben die Feinschichtung (Graphit, Quarz) umschlossen als sie schon gefaltet war. Jedoch dauerte die parakristalline Teilbewegung noch fort nach der Holoblastenbildung, wie die verlegte Reliktstruktur erweist.

b) Ein Glimmerschiefer, ebendort, zeigt *si* in Granat (Quarz und Biotit) und in Biotit (Quarz), abgebildete Feinschichtung und hinsichtlich der in *sb* oblongen Quarze ganz dasselbe wie 50. Teilbewegung ungewiß; sicher keine nachkristalline.

52. Hochparigg, Ridnaun. Ankeritschiefer mit Chloritgebälk. Teilbewegung wie in 51 b.

53. Dasselbe gilt hinsichtlich der Teilbewegung von folgenden Gesteinen:

a) Kalkglimmerschiefer von der Schneeberger Weißen (*ss* durch Biotit und Erz).

b) Greiner Schiefer aus dem Pockleitenstollen Schneeberg.

c) Biotit-Hornblendeschiefer. Rauhes Joch, Pfelderstal.

d) Greiner Schiefer (Muskovit, Biotit, Quarz, Kalzit) Pfelders.

e) Glimmerschiefer, Gürtelscharte, Schneeberg; Gneis, Gürtelscharte Schneeberg.

f) Glimmerschiefer mit Granat nach Hornblende. Pfossental.

g) Albitamphibolit, Pfossental, In der Grub. *si* unverlegt in Albit enthält bereits sehr kleine wohlausgebildete Hornblenden, ferner Zoisit, Quarz, Erz und Granat. Beispiel für ziemlich spät einsetzende Albitoholoblastenbildung.

h) Garbenschiefer, Faulwand, Pfossental.

Die älteren großen Garbenhornblenden sind verwandelt in Aggregate von kleiner Hornblende und Biotit zu gleichen Teilen. Granatlagen zeigen vorzüglich Feinschichtung an. Querbiotite, Muskovitgebälk.

i) Zweiglimmerschiefer mit Granaten. Die Granaten zeigen Siebstruktur (Quarz, Feldspat, Muskovit). Sie zeigen jederlei Stadium von Chloritisierung ohne Zusammenhang mit Teilbewegung. Biotit und Muskovit liegen in *sb* mit verschieden stark ausgesprochenem Balkencharakter. Manches macht in diesem Falle vorkristalline *ds* wahrscheinlich. Auch in den anderen Fällen läßt sich diese nicht ausschließen, wenn man Fälle wie den folgenden mit in Betracht zieht.

54. Knollengneis vom Schneeberg, Passeier. Quarz oblong in *sb*, nur bei Körnertrennung durch Glimmer (wie in 50, 51). In diesem Falle eines idealen *sb* ist gleichwohl ein sicherer Schluß auf *ds* möglich durch weitgehend ausgeflachte Quarz-„Geröllchen“. Auch ist in einem Falle vorkristalline bis parakristalline Fältelung vorhanden, welche manche Glimmer der Polygonalbögen noch gebogen hat.

55. Glimmerschiefer von der Gürtelscharte Schneeberg zeigt vorkristalline Fältelung (Polygonalbögen des Glimmers).

56. Im Granatglimmerschiefer mit Biotit und Kalzit vom Gipfel der Faulwand im Pfossental zeigt nur das stark verlegte *si* (Quarz) in Granat die Teilbewegung an, welche sonst aus dem feingeschichteten Gefüge kaum zu entnehmen wäre. Die Teilbewegung fand nach Granat und vor Kalzit statt.

Seltener sind im Schneeberger Zug die Gesteine mit nachkristalliner Teilbewegung. Hierher gehören außer dem bereits unter 27 erwähnten Gestein von Gasteig im Ridnaun folgende.

57. Granatglimmerschiefer Pfossental hinter Vorderkaser.

Die Granaten zeigen einerseits Kerne und Zonen aus Quarz, Erz, Graphit, einmal aber auch gefälteltes *si*. Die Feinschichtung ist kristallin abgebildet, sodann erfolgte starke nachkristalline *nds*, welche alle Bestandteile ergriff.

Dasselbe gilt von Zweiglimmerschiefer mit Granat und Albit.

58. Faulwand, Pfossental.

a) Granatphyllit zeigt neben Glimmergebälk, welches nachkristalline *nds* ausschließt, bereits da und dort Geflechte. *si* zieht aber noch unverlegt durch die kleinen Albite. Die Granaten sind teilweise chloritisiert.

b) Phyllitgneis. Ein ganz ähnliches Gestein mit gänzlich (ohne Deformation!) chloritisierten Granaten und starker, nachkristalliner *nds* im fluidalen Muskovitgeflecht.

Opazit durchzieht als *si* unverlegt große Chlorite, welche wohl ehemaligen Querbiotiten entsprechen und deren Wachstumsart durch Interposition illustrieren: *si* rückt in der Richtung *s* un stetig auseinander.

Es scheint, daß im Schneeberger Zug die Gesteine mit nachkristalliner Teilbewegung randlich gegen das Altkristallin liegen (27, 57, 58). Wie schon an Beispielen erläutert, können die Gesteine dieses Zuges sehr wohl mehr *ds* enthalten als heute, nach der Kristallisation aus dem Gefüge nachweislich ist. Die stetige Tektonik, welche zuweilen (so in der Texelgruppe bei Meran) vollständig geschlossene Falten erkennen läßt, weist ebendahin. Aber selbst wenn man geneigt wäre, die Kristallisation im großen Ganzen als Teilbewegung korrelat zu dieser Tektonik aufzufassen, bleibt folgendes zu bedenken.

Das Wachstum sehr vieler Holoblasten der beschriebenen Gesteine ist keine Teilbewegung in *s* und vermittelt keine Deformation und Anpassung an Spannungstrajektorien etwa nach Rieckes Prinzip. Dies ist zum Beispiel bei Chlorit nach Granat oder nach Hornblende deutlich. Dasselbe fanden wir bei Neubildung der großen

Querbiotite (vgl. auch Weinschenk's Mineralogie unter „Biotit“) der unregelmäßigen Hornblendegebälke, der (isometrischen) Albite, der isometrischen Quarze, der Pseudomorphosen von Biotit mit Hornblende nach Hornblende und von Granat nach Hornblende. Wir fanden also bei einer großen Zahl sicherer Holblasten in unseren geschieferten Gesteinen mit kristallisierter Feinschichtung, daß ihr Wachstum nicht nur keine von *ss* abweichende Struktur begründet, sondern auch keine Anpassung an Deformationen einzelner Kristalle bedeutet; was von Anpassung an Deformationen des Gesteins begrifflich zu trennen ist wegen der Irrelevanz einer gewissen Fassung des Rieckeschen Prinzips für letztere.

Dies gilt auch von Gesteinen, in denen wir vorkristallines *ds* oder Fältelung finden. Es entspricht der „Abbildungskristallisation“ in solchen Gesteinen, daß deren große *s* verquerende Holblasten, auch wenn sie während der Blastese des übrigen Gefüges entstanden (durch *si* oft ersichtlich), unregelmäßig bleiben und so auch in tektonischen Fazies Teilbewegung und Kristallisation trennen lassen.

Man könnte es in manchen Fällen vorkristalliner *nd* bedenken, ob nicht die Teilbewegung sozusagen durch Umrühren die kristalline Mobilisation für die folgende Abbildungskristallisation fördere. Aber trotz besonderer Aufmerksamkeit auf solche Fälle finde ich gerade große Holblasten oft in Gesteinen, deren vorherige Durchbewegung wenigstens nicht nachweislich, manchmal aber sogar höchst unwahrscheinlich ist.

Man hat geologisch (Ptygmatitgebiete) und technologisch Anlaß zu der Annahme, daß die kristalline Mobilisation die Deformierbarkeit der Gesteine steigert. Es wäre aber denkbar, daß hierin nicht die Deformierbarkeit des Einzelkorns durch gerichtete Spannung die wichtige Rolle spielt, sondern die gesteigerte Wegsamkeit der Intergranularen, welche die Orte geringster chemischer und mechanischer Festigkeit werden. Und zweitens wäre es möglich, daß, ohne gestaltenden Einfluß von Spannungstrajektorien auf einzelne Kristalle, zum Ausgleich von Differenzen im allseitigen Druck des Gesteins während der Deformation, korrelat zur Deformation Materialtransporte nach Stellen mit geringerem Druck stattfänden. Dies wäre ein von der Korndeformation zu unterscheidender Fall der Kristallisation als Teilbewegung von Deformationen. Man würde sich mit dieser Kristallisationsbewegung den Verhältnissen in erstarrenden Magmen nähern und auf die Möglichkeit von Differenzierung durch Bewegungen achten können. Man könnte das Auftreten der ptygmatischen Falten verstehen in den Gesteinen, deren Mobilisation sich der Wiedereinschmelzung näherte und in den leicht löslichen Salzen. Denn diese Kristallisationsbewegung würde durch die oben vorausgesetzte Wirksamkeit der Gefügemobilisation sehr erleichtert und mit ihr die Deformierbarkeit.

### Rensenzone bei Mauls.

Wir betrachten nun die Fortsetzung der Gesteine von Gasteig gegen Osten. Dabei bewegt man sich wieder an der Südgrenze des Tauernkristallin gegen das Altkristallin, welche wir schon mehrfach

durch starke, nachkristalline Gefügebewegung gekennzeichnet fanden. Tatsächlich finden wir auch für die Tauerngesteine der Rensenzone starke *nds* bezeichnend und in der Mehrzahl der Fälle von der Kristallisation nicht überholt. Die nachkristalline, mehrfach diaphthorische *nds* im Altkristallin dieser Zone wurde schon andernorts vermerkt. Sie wird hier zusammen mit vorkristallin durchbewegten Gesteinen des Altkristallin pag. 551 ff. erwähnt.

59. Ankeritgrünschiefer, Rensen, zeigt unversehrten Ankerit in großen Kristallen, Chlorit sowohl gebogen als in Polygonalbögen. Der Hauptsache nach ist *nd* vor Ende der Kristallisation von Karbonat und Chlorit erfolgt.

60. a) Kalkglimmerschiefer, Furkel bei Pfunders, zeigt *sb* ohne *sr*. Man kann jedoch nach allen Erfahrungen aus der Quarzgefügeregel auf *ds* schließen vor der Kristallisation.

Die Quarzkörner sind isometrisch, wenn sie nicht der Glimmer trennt.

b) Dasselbe gilt von Glimmerschiefer mit etwas Karbonat ebendort.

61. „Knopfschiefer“ von der Plattenspitze, sind durch stärkste *nds* phyllitisierte Gneise und Granatglimmerschiefer, deren Feldspate und Granaten aus den phyllitischen Schieferungsflächen ragen. Die Rekristallisation dieser Gesteine reichte hin, sie festzubinden. Musterbeispiele für Quarzgefügeregel.

62. a) Kalkphyllit von der Plattenspitze zeigt stärkste nachkristalline *nds*, welche das Karbonat (ohne Rekristallisation) betraf, das Quarzgefüge regelte und Lagenquarze erzeugte, welche die Ecken von Albiten umfließen.

b) In anderen Fällen ist das Karbonat unversehrt, also jünger als *nds*, deren Zeichen sonst dieselben sind.

c) Ein Kalkphyllit mit Ankerit und farblosem Augit zeigt den zertrümmerten Augit in Glimmergeflechten schwimmend.

63. a) Gneis bis Quarzphyllit von der Rensenspitze zeigt Chlorit-Muskovitgeflecht, Quarzgefügeregel und *sr*.

b) ebenso Albitgneis von der Grenze zwischen Rensengneis und Kalkphyllit.

---

## II. Phyllite.

Bei der Einförmigkeit dieser Gesteine läßt sich nicht an einzelne Schiffe anknüpfen, sondern nur allgemein Gültiges kurz anmerken.

Die Phyllite des Pfunderer Gebirges sind mittelkörnige Quarzglimmerphyllonite, oft mit Biotit. Diaphthorese wurde nicht gefunden.

Die schon kurz gestreiften Quarzphyllite, welche am Brenner (Sillesköpff) über den Greinerschiefern liegen, sind kataklastische Phyllonite mit rupturreller Teilbewegung.

Die Phyllite bis zur Schöberspitze im Osten (Schmirntal) gleichen den Pfunderer Phylloniten; nur fehlt ihnen der Biotit und sie sind

im allgemeinen etwas weniger klar kristallin, sozusagen weniger „säuberlich“ kristallisiert. Die Quarzphyllite der Tuxeralpen sind ihrer größeren Menge nach (z. B. Hennensteige, Grindl; ebenso die Vergleichsstücke von Treglwang in Steiermark) stark in *s* bewegte, aber nie hochkristallin gewesene Gesteine.

Angefügt sei hier, daß nach einer Reihe von Schriffen der von mir gesammelten Murauer Kalkphyllite in diesen Gesteinen durchwegs starke, nachkristalline *nds* mit Deformation von Quarz, Glimmer und Kalzit vorhanden ist. Letztere zwei Minerale waren vorher als gute Kristalle ausgebildet. Die Murauer Kalkphyllite sind sämtlich sehr typische postkristalline und mit Zerstörung früheren kristalloblastischen Gefüges (kristallisierte Feinschichtung) nichtmolekular in *s* durchbewegte tektonische Fazies. Ebenso ein Stück Kalkphyllit von Obertauern, wovon allerdings nur 1 Schriff vorlag.

### III. Bemerkungen über „altkristalline“ Schiefer.

Die altkristallinen Schiefer südlich der Tauerngesteine zeigen in allen untersuchten Proben mit Ausnahme einiger Intrusiva tektonische Fazies. Man findet gute Beispiele für tektonische Fazies auch ohne Kataklyse, z. B. Zoisitamphibolit vom Passenjoch im Pfundersstal. Außerordentlich starke Durchbewegung des Biotits ohne Chloritisierung und sowohl nach als während der Biotitkristallisation zeigt der Augengneis vom Passenjoch (Blastomylonit, Fig. 2). Diese Teilbewegung erfolgte während der Existenzbedingungen des Biotits und ohne Diaphtorese. Im Altaßtale läßt sich an Blastomyloniten das Nebeneinander von *nds*, *mds* und regenerierender Abbildungskristallisation hervorheben; der Biotit ist chloritisiert.

Die Teilbewegung der Intrusiva im Altkristallin nördlich des Brixner Granits ist meist eine nichtmolekulare und von Diaphtorese begleitet.

Manche der im Handstück von randlichen Tauerngneisen nicht unterscheidbaren Biotitaplitgneise der Rensenzone (so über Rensengranit; unter Kalkphyllit des Fensterlekoß) erwiesen sich als geschieferte Aplite des Altkristallin und unterscheiden sich u. d. M. sehr von den viel grobkörnigeren vorkristallin deformierten Aplitgneisen der Tauernhülle (Saxalpenwand). Es ist jedoch beizufügen, daß in der Rensenzone (Graben östl. v. Pfunders) auch Gneise ohne Unterschied von den Tauerngneisen vorkommen.

An den Tauerngneisen selbst läßt sich beobachten, daß bei gleichen Typen die Gneise in größerer Entfernung vom Hauptmassiv (Navisjoch im Navistal Norden der Gneise) viel stärker korrelat zur Bewegung zersetzt sind als ihresgleichen in größerer Nähe des Hauptmassivs (Gneislage von Dun in Pfunders).

Die Gesteine vom Jaufen zeigen auffallend viel regressive chemische Metamorphose, welche nicht mit Teilbewegung zusammenhängt.

Wichtig ist, daß die reichlich (bis zur Arteritbildung) imprägnierten mineralreichen Glimmerschiefer vom Penserjoch bis Taserbauer bei

Meran neben nachkristalliner auch vorkristalline Teilbewegung (Fältelung bis starke Umfaltung) zeigen und Abbildungskristallisation von *nd* ohne Diaphtorese. Sie gehören in dieser Hinsicht mit den Tauerngesteinen den Laasergesteinen und mit manchen anderen Gliedern der Ötztaler Schiefermasse zusammen (siehe unten).

Dagegen ist die Verfaltung der Kalkkögel mit ihrer Unterlage aus Stubai Schiefen ausschließlich diaphtoritisch erfolgt (Burgstall, Kreiter Graben).

Es ergibt sich aus dem oben Gesagten, daß auch unter den Gesteinen des Altkristallin vorkristalline und nachkristalline Teilbewegung vorkommt. Erstere wurde z. B. mit Bezugnahme auf Stücke vom Ötztalesausgang schon früher gelegentlich vom Verf. erwähnt. Es wird die Aufgabe des nächsten petrographischen Bearbeiters dieser Areale sein, auch im Ötztaler und Stubai Massiv vorkristalline und nachkristalline Deformation zu trennen und darauf zu achten, ob erstere an Intrusionen gebunden sei. Nach dem Einblick in sein Schliffmaterial, welchen ich meinem Freunde Hammer verdanke, zeigen die Schriffe „Ortler und Ötztaler Gneise“ ganz überwiegend *sb* durch nachmaliges *nds* vollkommen ausgearbeitet; vielfach spielt *nds* ganz und gar die Hauptrolle und bringt auch hier wieder die Quarzgefügeregel mit sich.

Zuweilen beweist *si* (z. B. Erz in Stauroolith), daß kristallisierte Feinschichtung schließlich mechanisch ausgearbeitet wurde.

Dasselbe gilt fast ausnahmslos von den Schiefen „NO-Viertel des Blattes Glurns-Ortler“. Ausnahmen sind Salisatis, Planail, Straße Matsch—Mals, Spitzige Sun—Plantavillas.

Auch am Material aus der Laasergruppe sieht man vielfach, daß Feinschichtung schon vor der Blastese vorhanden war und für *s* die entscheidende Orientierung gab.

Unter den Laaserschiefern sind nicht selten Beispiele für starke *ds* vor bis mit der Kristallisation (Talfrazer Graben bei Göflan, östlich Ast), und für vorkristalline Fältelung (Weißkrantl). Freilich wäre eine eigens auf das Verhältnis zwischen Kristallisation und Gefügebewegung gerichtete Untersuchung der Laaser und Ötztaler Schiefer von Interesse, aber etwas scheint mir schon aus Hammers Material hervorzugehen:

Die Laaser Schiefer zeigen als häufigstes Gefüge *sb* (*sab*, *mds*). Ihre Teilbewegung ist von der Kristallisation überholt.

Die Ötztaler Schiefer zeigen vorwiegend *nds* nach der Kristallisation.

Ausnahmen sind auf Seite der Laaser Schiefer anscheinend randlich vorhanden, z. B. SW-Grat der Vertainspitze mit starker *nds*, Eingang in die Tschengeiser Schlucht.

Vielleicht geologisch wichtiger sind die Ausnahmen auf Seite der Ötztaler Schiefer. Z. B. treten in den Nachbargesteinen des Amphibolits von der Schlinigalm vorkristalline Falten auf. Ebenso hat in einem breiten Streifen, aus dem ich nur die Punkte Ötztaler Hochjoch—Weißkugelgruppe—Elferspitzgruppe nenne, die Kristallisation jederlei Gefügebewegung überdauert, wie wir dies für die meisten Tauernschiefer bezeichnend fanden. Diese Gesteine kommen also, was das Verhältnis zwischen Teilbewegung und Kristallisation anbelangt,

neben die Tauern, Laasergesteine, mineralischen Glimmerschiefer von Pens etc. zu stehen; vielleicht am nächsten neben die letztgenannten. Ob hiermit eine ähnliche stratigraphische Stellung verbunden ist, bleibt derzeit dahingestellt. Näher scheint mir die Frage zu liegen, ob nicht die Intrusionen mit dem vorkristallinen Charakter der Gefügebewegung zusammenhängen, welche sowohl bei den Penser Glimmerschiefern als nach Hammer's mündlicher Mitteilung bei den erwähnten Ötztaler Gesteinen bis zu Arteriten führen.

Vielleicht gelingt es, in den Ötztaler Gesteinen eine Gruppe mit Intrusion und überdauernder Kristallisation durchbewegter Gesteine noch da und dort hervorzuheben und ihre Deformation als eine ältere Tektonik von Bewegungen wie der von Hammer untersuchten Aufschiebung des Elferspitzkristallins auf die Gebilde des Engadiner Fensters zu trennen.

### Anhang.

#### Über Albitisation.

Mit Albitisation kann man die Kristallisation der Albite bezeichnen, ohne damit etwas über Stoffzufuhr zu behaupten. Die Albitisation erfolgt in Gestalt einer lokalen Imprägnation des Grundgewebes mit Albitindividuen. Von einer Imprägnation kann man sprechen, weil die Albitindividuen, wie bekannt, mit weitgehender Schonung des bereits vorhandenen Gefüges wachsen und dasselbe hierbei nicht mechanisch verändern, sondern als interne Reliktstruktur (z. B. Helizitstruktur Weinschenk's) umwachsen, als Dauerpräparat aus der Zeit vor der Albitisation aufbewahren und unter gewissen Vorbehalten einen oft lehrreichen Vergleich mit dem externen Gefüge gestatten.

Die Gestalt der Albitohloblasten ist in der Regel isometrisch, zuweilen geradezu kugelig. In diesem Falle schließen sich die da und dort im Grundgewebe keimenden Kristalle bei gegenseitiger Berührung zu idealer Pflasterstruktur zusammen aus Körnern mit isometrisch polygonalem Querschnitt. Solche Querschnitte entstehen in der Weise, daß etwas vor der Berührung und bei der Berührung sich wachsend begegnender isometrischer Keime vermehrte Stoffzufuhr gegen den Berührungspunkt erfolgt, nach einem in der Gesteinskunde vielfach wirksamen Prinzip. Hierbei entstehen biskuitförmige Stadien, wie bei anderen Konkretionen, welche sich mit wachsenden Oberflächen begegnen.

Die Gestalt der Albite kann aber auch oblong sein. In diesem Falle entspricht der längere Durchmesser der Richtung von *si* im Kristall, ohne daß dieses *si* selbst gedehnt wird. Dies gilt gleichviel, ob nun *si* verlegt oder unverlegt vorliegt. In ersteren Fällen ist es bisweilen um so deutlicher, daß die oblonge Form der Albite auf das Prinzip der leichteren Stoffzufuhr in *s* zurückzuführen ist und keine Anpassung der Gestalt an gerichtete Spannungen bedeutet.

Niemals, weder in den schwachkristallinen noch in den hochkristallinen Albitphylliten noch in den Albitgneisen des von mir untersuchten reichlichen Materials erfolgt die Kristallisation eines Einzelindividuums nachweislich als „tektonoblastische“ Teilbewegung einer

Deformation. Da es sich hierbei um Typen der obersten bis mittleren Stufe Grubenmanns handelt auf deren Kristallisation gerichtete Spannungen am meisten Einfluß hätten, wäre um so mehr hervorzuheben: Die Kristallisation der Albite erfolgt ohne Anpassung ihrer Form an gerichtete Spannungen.

Von solcher Anpassung eines Kristallindividuums an gerichtete Spannungen ist begrifflich zu unterscheiden eine Kristallisationsbewegung, welche in vermehrter Albitbildung in den Kniehöhlen gestauchter Einlagen im Schiefer besteht. Denn bei solcher Kristallisationsbewegung, welche an meinem Material in einem Falle wahrscheinlich ist, paßt sich nicht ein Kristallkorn z. B. nach Rieckes Prinzip der Druckverteilung an, sondern eine bestimmte Substanz gelangt am Orte mit günstigen Druckverhältnissen zum Absatz, wobei Differenzen im ungerichteten Druck und nicht Druckrichtungen das Wichtige für diese Art von Teilbewegung sind.

Diese Kristallisationsbewegung spielt für das Zustandekommen der Schieferung überhaupt keine Rolle, wohl aber als Teilbewegung mancher Deformationen.

Der Zustand des Grundgewebes vor der Albitisation ist im Grade der Kristallisation verschieden.

*si* besteht auch ganz in der Nähe der Zentralgneise und bei stärkster Albitisation bisweilen nur aus opazitischer Substanz, was freilich in manchen Fällen auch auf eine Aufzehrung von Quarz und Glimmer bei der Albitisation zurückgehen könnte. Bisweilen ist das Gefüge durch Ausbildung von Glimmern oblongen Quarzen, Epidot etc. schon vor der Albitisation ziemlich hochkristallin geworden. Daraus, daß der Entwicklungszustand von *si* im Albit jeweils für größere Gesteinspartien derselbe ist, kann man entnehmen, daß die Bildung der zahllosen im Gestein verstreuten Albite jeweils eine verhältnismäßig gleichzeitige war und eine ganz ausgesprochene Entwicklungsphase des Gesteins bedeutet. Andernfalls hätte man wohl in den verschiedenen Albiten verschiedene Entwicklungsstadien des Grundgefüges zu erwarten, welches ja häufig eine Entwicklung vom Ton-schiefer bis zum hochkristallinen Glimmerschiefer durchlief.

Durchbewegung des Gefüges ist in Gestalt von Fältelung oft schon vor der Albitisation vorhanden. Sie dauert aber gewöhnlich nach, zuweilen auch nachweislich während der Albitisation gleichsinnig oder in einem anderen Sinne fort und erreicht sehr oft erst nach der Albitisation ihren Höhepunkt (verlegtes *si* in den Albiten oder in deren Kern).

Auch die Bewegung der Albite kann durch die Kristallisation anderer Minerale überholt werden und nur noch an der verlegten Reliktstruktur kenntlich sein, wie an vielen Beispielen gezeigt wurde.

### Erläuterung der Bilder.

Die in Klammern den Bildern beigegebenen Zahlen entsprechen der Numerierung im Texte.

1. Biotitphyllit im Kalk des Kahlen Wandkopf, Schmirn, Brenner. Tektonische Fazies eines Tauerngneises ohne Diaphthorese. Bildung von Glimmer- (Biotit-) Geflechtem durch *nds* nach der Biotitkristallisation.

2. Zerkneteter Augengneis; Passenjoch, Pfunderstal; „Mühlwälder Augengneis“. Tektonische Fazies eines „altkristallinen“ Gneises ohne Diaphthorese.

Halbfluidale Struktur des Biotits zwischen den Augen anlässlich einer Durchbewegung mit und nach der Biotitkristallisation.

3. Quarzphyllit mit Granaten über dem Tribulaundolomit, Santigjoch bei Gossensaß.

Tektonische Fazies eines ehemals ziemlich hochkristallinen Glimmerschiefers durch nachkristalline Teilbewegung.

4. Phyllit, welcher den Magnesit von Tux begleitet. Beginnende Albitisation.

5. Albitphyllit. Gamskarspitz bei Hintertux. Oblonge Form der als Imprägnation längs *s* auftretenden Albitindividuen *a*. + Nikols. Dunkelstellung der Albite.

6. Granitgneis, Schloßkopf, Inzing, Inntal. Aus Material Ohnesorge: „vollständig umkristallisierter Granitporphyr.“

Glimmergebälk ungefähr in *s*. *ds* gänzlich von der Kristallisation überholt. Zeigt auch den von Ohnesorge beschriebenen körnigen Zerfall der Feldspate.

7. Glimmerschiefer (Greinerschiefer) über Stranes, orographisch linkes Gehänge des Ridnauntals bei Sterzing.

Scheitform der Glimmer. Als einzige mechanische Läsion des ringsum unversehrten hochkristallinen Gefüges: Pressung des hellen Muskovits in der Mitte durch Biotit (unten); Wachstumsdruck des Biotits.

8. Glimmerschiefer unter dem Marmor der Saxalpenwand am Brenner.

Biotite in *s* bisweilen noch von *ds* ergriffen und Biotite quer *s*, welche, vollkommen unversehrt, Teilbewegung in *s* nach ihrer Kristallisation ausschließen lassen.

9. Amphibolit, Gipfel der Schleierwand bei Goßensaß. Holoblasten von Hornblende, Quarz und Albit durchwachsen mit vollkommen unregelmäßigen Achsen *s*, welches durch Feinschichtung (Erz) bezeichnet ist. Keinerlei *d*.

10. Greinerschiefer, Zirmaidscharte, Ratschings. *s*, Feinschichtung durch Graphit, durchzieht als *si* nur wenig verlegt und verändert den großen Rhätizitholblasten.

11. Greinerschiefer, Graben zwischen Flans und Tschöfs bei Sterzing.

Granaten mit unverlegtem *si* und oblong in *s* infolge besserer Wegsamkeit längs *s*.

12. Graphitglimmerschiefer, Grubwald, Pfitsch. Klastische Form der Quarze in kristallinem Schiefer ohne Katakklase.

13. Granat-Biotitschiefer, Südgrat des Kleinen Kaserer, Schmirntal, Brenner. Unverlegtes *si* in Granaten in der Ausbildung stark abweichend von *se*. Letzteres ist Abbildungskristallisation von Feinschichtung.

Biotitfüllung der meist quer *s* verlaufenden Sprünge im Granat erweist die lange Dauer der Biotitkristallisation unter Bedingungen, welche rupturale Deformation der Granaten zuließen.

14. Biotitschiefer nächst Kontakt mit Aplit, Graben bei St. Jakob im Pfitschtal. Kontaktmetamorpher Amphibolit, dessen Schieferung durch Biotitbildung in *s* gesteigert ist.

### Sachverzeichnis.

(Die nebenstehenden Ziffern geben die Seitenzahlen an.)

Abkürzungen 568.	Quarz, Form der Körner 574, 576, 578, 584, 587.
Biotitgeflechte 584.	Quarzgefügeregel 577, 580.
Blastomylonite 585, 591.	Querbiotite 575, 582, 588.
Diaphorite 584, 591.	Steigerung von <i>s</i> 572, 574, 576, 578.
Feinschichtung 570, 573, 574, 576.	Teilbewegung und Kristallisation, Übersichten 567 ff., 574, 575, 582—586, 588, 590—593.
Generationen, zeitliche 570, 571, 573.	Wegsamkeit von <i>s</i> 572, 578, 581, 587, 589, 593.
Granaten, mechan. Widerstand 579.	
Hof um Biotit 570, 582.	
Kristallisationsbewegung 588—9, 593—94.	
Metamorphose ohne Korudeformation 587, 588, 591.	

### Inhalt.

	Seite
<b>Einleitung</b>	567 [1]
<b>I. Untere Schieferhülle der Tauern</b>	569 [3]
Hochfeiler und Sengesser Kuppel	569 [3]
Pfitschtal	575 [9]
Sterzing, Pfärsch, Ridnaun	577 [11]
Brenner bis St. Jodok	580 [14]
Von St. Jodok nach Osten	583 [17]
Von Kasern im Schmirntal nach Osten	584 [18]
Schneeberger Zug	586 [20]
Renzenzone bei Mannd	589 [23]
<b>II. Phyllite</b>	590 [24]
<b>III. Bemerkungen über „altkristalline“ Schiefer</b>	591 [25]
Anhang: Über Albitisation	593 [27]
Erläuterung der Bilder	595 [29]
Sachverzeichnis	596 [30]

## 2. Über Kristallisation und Faltung einiger Tiroler Schiefer.

### Einleitung.

Seit 1909 (Verh. d. k. k. geol. R.-A.) war es das in mehreren Veröffentlichungen zum Ausdruck gebrachte Bestreben des Verfassers, auf den Wert einer Betrachtung der Teilbewegungen hinzuweisen und die Teilbewegungen im Zusammenhange mit den tektonischen Deformationen zu betrachten, zu welchen sie gehören. Bei dieser Gelegenheit wurde auf die Betrachtungsweisen der Deformationskunde treibenden Techniker aufmerksam gemacht und für dienlich gehalten, die Betrachtung der Teilbewegungen, zunächst bei einfachen tektonischen Formen, für sich und noch vor einer Debatte über die „gebirgsbildenden Kräfte“ zu betreiben.

Die geologischen Aufnahmegebiete des Verfassers (Zentralalpen) zeigen bekanntlich in hohem Grade „stetige“ Umformungen, das soll heißen Umformungen, bei welchen die Größe der die Teilbewegung ausführenden Teile im Verhältnis zur Größe des deformierten Körpers so gering ist, daß die fließenden Umformungen entstehen, welche man heute in zahlreichen Querschnitten dargestellt findet.

Da die Gesteine der Zentralalpen gewöhnlich geradezu Korn für Korn bewegt sind, war es möglich, schon an verhältnismäßig kleinen durch Dünnschliffe noch studierbaren Umformungen die Teilbewegung im Gefüge zu untersuchen. In vielen Fällen gelingt es, solche einer genauen Untersuchung noch zugängliche Deformationen (durch die Erfahrungen bei der geologischen Aufnahme und wohlüberlegte Auswahl des Materials für die ziemlich teuren Schliffe) mit Sicherheit als Teilbewegungen tektonischer Bewegungen zu erkennen. Man gelangt so vor manche neue Aufgaben, unter welchen ich hier die Frage nach den Beziehungen zwischen Teilbewegung und Kristallisation durch das Studium von Faltungen in kristallinen Schiefen zu fördern versuchte.

In allen Wissenschaften, welche sich mit Gegenständen befassen, deren Querschnittsbild sich mit der Richtung des Schnittes ändert, wird das größte Gewicht auf gute Orientierung der zu untersuchenden Schnitte gelegt. Dagegen gibt es noch große Institute, in welchen auf die Orientierung der Gesteinsschliffe und auf die Vorrichtungen, womit man orientierte Schliffe macht, wenig Gewicht gelegt und ein für manche Fragen unbrauchbares Schliffmaterial hergestellt wird. Die Firma Voigt und Hochgesang, Göttingen, hat auch diesmal nach meinen Tuschmarken gutorientierte Schliffe aus den Falten geschnitten.

Dank den optischen Untersuchungsmethoden, welche im Dienste der Mineraldiagnose unter dem Mikroskop eingeführt wurden, ist man in der Lage, die geringsten Anfänge mechanischer Deformation an Mineralkörnern zu sehen, da die anisotropen gesteinbildenden Minerale schon vor der Ruptur wohlbekannte Veränderungen ihrer optischen

Verhältnisse erfahren und im Schliß zwischen Nikols in Form von Störungen ihre Interferenz erkennen lassen (z. B. undulöse Auslöschung an Quarz und Glimmer, Zwillingslamellen an Kalzit). Dazu kommt, daß viele Gefüge schon infolge der Kornkonturen mechanisch sehr empfindlich gebaut sind. Es wäre geradezu schwierig, ein Gefüge zu erfinden, welches die geringste Kornverschiebung und schon das Bestreben solcher Gefügebewegungen so ausgezeichnet kontrollierbar macht wie z. B. ein stark verzahntes Quarzgefüge, in welchem unversehrte Quarzkörner lückenlos schädelnahtartig ineinander greifen und keine latente Verschiebung gestatten; oder ein Gefüge, in welchem kreuz und quer gestellte Glimmerblättchen oder Kristallnadeln von irgendeiner Seite kommenden Druck registrieren; oder ein Gefüge, in welchem strauchartig verzweigte Einzelkristalle durch optische Störungen in ihren Zweigen wie mit empfindlichen Fühlern auf jede Bewegung in dem von ihnen durchwachsenen Gefüge reagieren.

So gibt es also unter den Gesteinen zahlreiche, deren Gefügebewegung sich vielseitiger und gründlicher studieren läßt als die Gefügebewegung in Metallen. Übrigens sind sehr viele Fragestellungen der Petrographie und Metallographie gemeinsam nicht nur auf dem Gebiete der Erstarrung, wo das in einem Referat in Links „Fortschritten der Mineralogie“ von anderer Seite übersichtlich gemacht wurde, sondern auch auf dem Gebiete der Deformation, auf welchem die Petrographie sogar manchen Vorsprung besitzt, welchen sie der guten Kenntnis der gesteinbildenden Minerale, der Möglichkeit im Dünnschliffe zu untersuchen, der Mannigfaltigkeit des Materials und den hiermit zusammenhängenden Fragestellungen verdankt. Ist der Spielraum für Experiment und direkte praktische Verwertbarkeit der Ergebnisse auch derzeit ein sehr geringer, so darf man wohl die Bedeutung einer Gefügekunde, welche Teilbewegung und Kristallisation systematisch betrachtet sozusagen einer Petrographie der deformierten Gesteine für die Geologie hervorheben, da es sich ja meist um tektonische Gesteinsfazies handeln wird.

Die Beobachtungen an den der Untersuchung im Schliß zugänglichen Fa'tungen lassen sich übereinstimmend an die mit viel zahlreicheren gewöhnlichen Schliffen erhaltenen Befunde über das Verhältnis der Teilbewegung in  $s$  zur Kristallisation anschließen. Demnach gehören in der Regel Faltung und Bewegung in  $s$  derselben Durchbewegungs-Phase an. Es ist in der Regel mehr als wahrscheinlich, daß diese Durchbewegung einer tektonischen Hauptphase entspricht.

Was die Faltung betrifft, so wurde vom Verfasser bereits in früheren Arbeiten manches hervorgehoben, was sich aus der technologischen Betrachtungsweise ergibt. Es sei daher hier nur noch kurz erinnert an die Möglichkeit von Biegetrajektorien in Falten, an die Unterscheidung von Faltung und Biegung, an die Abbildung der bei Faltung auftretenden Teilbewegungen und Kräfte (Spannungsdoppelbrechung in Gallerten, aufgedruckte Kreismuster an plastischem Material und an Karton oder Papierpaketen etc.), an Falten, welche mit und ohne Leitung gerichteten Druckes entstanden und ihre Erkennungszeichen (Stauchfaltenregel) an die Bedeutung der Bewegung

in s bei Faltung und die Bedingungen dieser Bewegung, an die Bedeutung der relativen Größe der „Gefügeelemente“, welche die Teilbewegungen ausführen. Besonders wäre für das Folgende die „zur Faltung korrelierte Streckung“ in Erinnerung zu bringen, bei welcher die Ausweichung normal zum umformenden Druck erfolgt. Alles Dinge, von denen oft hervorgehoben wurde, daß sie für geologische Profile gerades gut gelten wie für Dünnschliffe. Der Verfasser beabsichtigt alles dies bei späterer Gelegenheit noch lehrhaft zusammenzustellen, ohne bei diesen schrittweisen Berichten über die Fortschritte in solchen Studien jedesmal alles zu wiederholen, um so weniger, als ihm doch scheint, daß manches von der in jenen früheren Arbeiten geübten technologischen Betrachtungsweise derzeit schon eher in der Fachliteratur angetroffen werden kann als damals.

Außerdem weiß der Verfasser, daß sein lieber Arbeitsgenosse und erster Lehrer in der Geologie Dr. O. Ampferer nunmehr Studien in dieser Richtung an seine Arbeit über das Bewegungsbild von Faltengebirgen anzuschließen gedenkt, so daß wir in Anbetracht der zur Eile drängenden Kriegszeit übereinkamen, zunächst unabhängig voneinander unsere Studien niederzuschreiben, hierbei aber zur Vermeidung allzu vieler Parallelismen eine gewisse Arbeitsteilung im Auge zu behalten. Auch ist durch die Arbeiten von Schmidt, Leoben, Belehrung über Teilbewegung in Gesteinen und Metallen zu erwarten. Demgemäß bespreche ich derzeit von meinen allgemeineren Betrachtungen nur das, was unmittelbar zur Deutung meiner Präparate gehört.

Bezüglich einiger Abkürzungen siehe die vorhergehende Arbeit.

Die hier unternommenen Studien schließen sich namentlich an folgende Vorstudien des Verfassers an:

1. Abbildung der bei geologischen Experimenten auftretenden Kräfte und Verschiebungen im Material. Verhandl. der k. k. geol. Reichsanst. Wien 1909, Nr. 16.
2. Über Zusammenhänge zwischen Teilbewegung und Gefüge in Gesteinen. Tschermaks Mineralog. u. Petrogr. Mitteil. 1911, XXX. Wien.
3. Über einige Gesteinsgruppen des Tauernwestendes. Jahrb. d. k. k. geol. Reichsanstalt, Wien 1912.
4. Referat über Lächmanns Beiträge zur Plastizitätsfrage. Verhandl. der k. k. geol. Reichsanst. 1912, Nr. 17.
5. Referat über Starcks Tauernstudien. Verhandl. der k. k. geol. Reichsanst. 1913, Nr. 9.
6. Studienreisen im Grundgebirge Finnlands. Verhandl. der k. k. geol. Reichsanst. Wien 1914, Nr. 3.
7. Bemerkungen über tektonische Gesteinsfazies und Tektonik des Grundgebirges. Verhandl. der k. k. geolog. Reichsanst. Wien 1914, Nr. 9.

## I. Allgemeinere Bemerkungen.

Vorkristalline Deformationen sind solche, bei welchen die Kristallisation eines oder mehrerer Gefügeelemente die Deformation zeitlich überdauert hat, also nach der Deformation noch stattfand.

Man erkennt im Gefüge solche Deformationen daran, daß die nichtkristallinen Korndeformationen (Biegung, Bruch) entweder fehlen oder, als Teilbewegungen der Deformation betrachtet, quantitativ nicht ausreichen; so z. B. wenn sich bei starker Fältelung in einem hochkristallinen Schiefer ab und zu unter den unversehrten Glimmern, welche die polygonalen Faltenscharniere bilden, gebogene Individuen vorfinden. Wir trachten hier den Fall gänzlichen Fehlens korrelater nichtkristalliner Korndeformationen zu erklären, weil mit den Erklärungsmöglichkeiten für diesen Fall auch die Fälle mit unzulänglichen nichtkristallinen Korndeformationen erledigt sind.

Solche Deformationen mit unversehrtem kristallinem Gefüge können

1. entweder korrelate Korndeformationen der unversehrten Einzelkörner zeigen
2. oder nicht.

Im 1. Fall hat zweifellos die Molekularbewegung, in welcher die Kristallisation besteht, die Rolle einer zur Deformation korrelaten Differentialbewegung gespielt. Es ist zweckmäßig, diesen Fall mit korrelater Korndeformation als die erste der möglichen und beobachtbaren Kristallisationsbewegungen zu unterscheiden von der Kristallisationsbewegung ohne korrelate Korndeformation. Das bekannteste Beispiel für erstere ist die Kristallisationsschieferung Beckes.

Im 2., viel häufigeren Fall, wenn also im unversehrten kristallinen Gefüge eines deformierten, z. B. gefalteten, Gesteins korrelate Deformationen der Einzelkörner fehlen, wurden zwei Möglichkeiten begrifflich unterschieden, welche sich praktisch nicht ausschließen und bei derselben Deformation eine Rolle spielen können.

Diese zwei Entstehungsmöglichkeiten sind: a) kristalline Abbildung der fertigen Deformation (wie irgendeiner anderen Struktur, z. B. Feinschichtung, Fossil). Hierbei folgt die entscheidende, das letzte Gepräge gebende Kristallisation des Gesteins nach der Deformation; zuweilen wohl wie eine mechanische Erstarrung nach einer Phase größerer Beweglichkeit. Es können hierbei entweder die mechanischen Korndeformationen der Deformationsphase durch Umkristallisation verschwinden. Oder es kann die Deformation an wenigkristallinem Material erfolgt sein, welches erst nach der Deformation die Vergrößerung seiner (sedimentär oder durch Deformationen gerichteten) Keime zu größeren Körnern und die Neubildung von Holoblasten erfuhr. Dieser Fall scheint mir nach meinen bisherigen Untersuchungsmaterialien eine wichtige Rolle zu spielen.

b) Es ist möglich, daß eine Kristallisation korrelat zur Deformation als eine Differentialbewegung derselben erfolgt, ohne daß Einzelkörner korrelate Deformationen, z. B. im Sinne des Rieckeschen Prinzips zeigen.

Diese Kristallisationsbewegung ohne korrele Korndeformation spielt eine wichtige Rolle. Hierher gehören die kristallinen Ausheilungen aller tektonischen Rupturen im Gestein, bei welchen bestimmte, bei den jeweiligen Bedingungen gelöste und mobile Stoffe sich an die Orte mit Absatzmöglichkeit begeben. Das absolute Ausmaß solcher Rupturen ist hierbei nebensächlich und wir beobachten begrifflich gleiche Kristallisationsbewegung an Gängen wie an Haarspalten und noch viel feineren Rupturen, deren Verheilung z. B. Jahrb. der geol. Reichsanstalt 1912, pag. 255 ff., beschrieben ist. Wir begegnen ferner nichts neuem, wenn wir nun auch die kristallin regenerierten Blastomylonite hier anschließen und alle Fälle, in welchen Kornrupturen durch die jeweils charakteristische mobile Lösung ausheilen. Oft verändern sich die Zusammensetzung der mobilen Lösung und die Ausscheidungsbedingungen, wie uns zeitliche Mineralgenerationen in kristallinen Schiefen und die Erscheinung der gemischten Gänge lehren, welche letztere auch in Haarspalten zuweilen noch sichtbar ist. In allen diesen Fällen wäre nicht nur die Kristallisation als Differentialbewegung tektonischer Deformationen verschiedensten Ausmaßes zu betrachten, sondern auch zu beachten, daß sich in weitaus den meisten Fällen gleichzeitig hiermit auch eine chemische Entmischung des deformierten Gesteinskörpers vollzieht.

Man kann nun die Frage, wie die chemische Mobilisierung zustande kommt, zunächst beiseite lassen und nicht nach der Auflösung, sondern nach dem Absatz der beweglichen Stoffe fragen. In manchen der oben angeführten Fälle mögen die Orte mit den besten Absatzbedingungen offene Rupturen gewesen sein. Es ist aber in vielen Fällen wahrscheinlich, daß die Deformation nicht bis zu einer offenen Ruptur gedeiht, sondern letztere in statu nascendi, sozusagen bevor sie eine Wunde ist, schon ausheilt, indem an bestimmten, z. B. vor Druck besser geschützten Stellen im Gestein bestimmte Stoffe, sich anreichernd, auskristallisieren; so in den Augenwinkeln der Augengneisfeldspate, an manchen Stellen widerstandsfähiger Faltscharniere etc.

Auf diese Weise kann sich die Kristallisation chemisch und räumlich an Inhomogenitäten des Druckes im Gestein anpassen und zugleich eine Kristallisationsbewegung in unserem Sinne, d. h. eine Teilbewegung einer Deformation sein.

Für die jetzt besprochene Art der Kristallisationsbewegung ist es wesentlich, daß sich die Stoffe an Orten mit günstigen Druckbedingungen absetzen, was schon voraussetzt, daß sie weniger günstige Orte verlassen haben, also wandern und zur Umformung des Gesteins als molekulare Differentialbewegung in Beziehung stehen; ohne daß Druckrichtungen hierbei zum Ausdruck gelangen oder irgendwelche Rolle zu spielen brauchen. Ein Gestein, in welchem nur gewisse Stoffe solche Kristallisationsbewegungen als Teilbewegung einer Deformation ausführen, wird „teilweise fließend“ umgeformt; ein Begriff, den das Studium der Gesteinsdeformationen so wenig entbehren kann, wie z. B. den der Abbildungskristallisation.

Es ist nun der Fall denkbar, daß sämtliche für eine Deformation erforderlichen Teilbewegungen in einem Gesteine in Form von Kristal-

lisationsbewegung (mit oder ohne korrele Korndeformation) vor sich gehen und daß sich das Gestein hierbei als eine unter den gegebenen Bedingungen (welche mineralogisch-chemische Verhältnisse und die Deformationsgeschwindigkeit betreffen) zähe Flüssigkeit stetig deformiert. Bis jetzt aber ist mir eine Gesteinsdeformation, durch deren Gefüge dieser Idealfall unzweifelhaft würde, weder unter den mineralogisch einheitlichen noch unter den mineralogisch zusammengesetzten Gesteinen begegnet.

Ja es wird sich im Verlaufe der folgenden Beschreibungen von Falten zeigen, daß sich die Abbildungskristallisation einer fertigen Deformation besser und häufiger nachweisen ließ als während der Faltung erfolgende Umkristallisations- und Ausheilungsprozesse, welche eine Kristallisationsbewegung der Faltung darstellen würden. Und ich glaube, daß man geradezu von einer mechanischen Erstarrung mancher heftig durchbewegten kristallinen Schiefer anläßlich ihrer Kristallisation sprechen darf; da nach derselben das Gefüge viel weniger leicht beweglich war und tatsächlich keine Teilbewegung mehr stattfand. So mag mancher vorkristallin heftig durchbewegte (auch sedimentäre) Teil eines Gebirges in seiner Bewegungsphase die Störung des inneren Gleichgewichts, welche die Kristallisation ermöglichte, erlebt haben und hernach den neuen Bedingungen gemäß kristallin erstarrt sein.

Es ist zu überlegen, welche Beziehungen bestehen zwischen Kristallisationsbewegung ohne korrele Korndeformation und zwischen Kristallisationsschieferung im Sinne Beckes.

Wenn ein Korn an der gepreßten Stelle schwindet und an minder-gepreßten Stellen wächst, so scheint mir dieser Fall theoretisch ebenso möglich wie Kristallisationsbewegung ohne korrele Korndeformation. Der Fall, daß Schwinden und Wachsen am selben Korn erfolgt, ist lediglich ein ohne weiteres möglicher Spezialfall, welcher zur Abbildung von Druckrichtungen nach Beckes Annahme führt. Wenn man nun aber nach Beispielen hierfür sucht, so ist immer im Auge zu behalten, daß es mehrere andere Wege gibt, auf welchen es zur Bildung oblonger Körner kommen kann; so die Wegsamkeit von  $s$  für Stoffzufuhr und Weiterwachsen, ferner die Einstellung heterometrischer, gänzlich neugebildeter Kristalle in  $s$  schon in statu nascendi, welche letztere mir übrigens nicht immer die bedeutende Rolle zu spielen scheint, welche ihr viele zuweisen. Z. B. verweise ich hier auf die in der Arbeit über „Feinschichtung, Teilbewegung und Kristallisation im Kleingefüge einiger Tiroler Schiefer“ abgebildeten Schiffe aus Hochedergneis (Material Ohnesorge). In solchen sehr verbreiteten Fällen scheint mir weder Einstellung von Neubildungen in  $s$  noch Korndeformation nach Becke-Riecke in Frage zu kommen, obgleich es sich um einen gut geschieferten Schiefer handelt, welcher aus einem Granit entstand.

Es gibt eine Definition, welche als zähflüssig einen Körper definiert, der unter dem Einfluß einer konstanten Kraft eine fortschreitende Deformation erleidet. Diese Definition enthält viel Unbestimmtes, selbst wenn man als konstante Kraft die Schwerkraft nimmt,

in welchem Falle Festigkeit oder Flüssigkeit eines Körpers gar von seiner äußeren Form abhängen würden.

Man wird besser überhaupt nicht sagen, ein Körper ist zähflüssig, der andere fest, brüchig etc. etc.

Alle diese Attribute gelten für den betreffenden Körper nur unter bestimmten Bedingungen (Deformationsgeschwindigkeit, Druck, Temperatur), wozu bei Körpern, welche, wie die meisten Gesteine, aus ganz verschiedenen Elementen zusammengesetzt sind, noch weitere Bedingungen kommen. Es ist also irreführend, wenn man, ohne solche Bedingungen zu fixieren, sagt, ein Körper ist so oder so. Besser ist es zu sagen: Ein Körper deformiert sich unter den und den Bedingungen so oder so. Und wer Gefügekunde deformierter Körper treibt, der sagt zunächst besser als alles dies: Ein Körper hat seine Deformation mit so oder so gearteten Teilbewegungen erlitten. Diese können rupturrell oder blastisch oder auch mechanische stetige Deformationen einzelner Gefügeelemente sein. Fügt man solchen Angaben noch die Beschreibung der Gefügeelemente bei, so ist alles gesagt, was man aus dem Gefüge rückschließend über die Deformation eines Körpers sagen kann, während ein im Sinne der oben gegebenen physikalischen Definitionen als zähe Flüssigkeit deformiertes Gestein sowohl ein Mylonit als ein erstarrendes Magma sein könnte oder ein Gestein, dessen Rupturen während der Deformation sukzessive kristallin verheilen. Die Stetigkeit einer Deformation wird um so größer, je kleiner die sich differentiell gegeneinander verschiebenden Gefügeelemente sind, verglichen mit den Ausmaßen des korrelierten deformierten großen Körpers.

Eine besondere Beachtung muß man ferner bei Überlegungen über Gesteinsdeformationen der Zeit schenken. Wenn die betrachtete Deformation in einer gewissen Zeit  $T$  vor sich geht, so gehen auch alle zur Deformation gehörigen Teilbewegungen in dieser Zeit vor sich. Die Geschwindigkeit (Weg in Zeit) der Teilbewegungen kann aber eine sehr verschiedene sein. Denn diese Geschwindigkeit hängt sowohl von der konstanten Zeit  $T$  ab als von dem in dieser Zeit zurückgelegten Weg, d. h. vom Ausmaß der Teilbewegung. Je kleiner die sich bewegenden Teile, verglichen mit dem zu deformierenden Körper, den sie zusammensetzen, sind, desto geringer wird absolut gemessen ihre Verschiebung gegeneinander, der Weg ihrer Teilbewegung und damit auch bei gleichbleibender Deformationszeit die Geschwindigkeit der Teilbewegung. Diese Beziehung nenne ich die Geschwindigkeitsregel der Teilbewegung.

Wenn sich z. B. ein körniger Gesteinskörper, in welchem bei den gegebenen Bedingungen die Teilbewegung von Korn zu Korn erfolgt, in einigen Tagen oder Stunden in eine Falte legt, so stehen diese Tage und Stunden den Körnern im Gefüge für die Zurücklegung winziger Wege zur Verfügung. Die Körner bewegen sich gegeneinander außerordentlich langsam. Die Geschwindigkeit der Teilbewegung ist in solchen Gesteinen selbst bei ziemlich schneller Deformation eine sehr geringe.

Ist nun eines oder sind mehrere Minerale dieses Gesteines mobil, so daß sie sich lösen und wieder umkristallisieren können, so

wird es bedeutungsvoll, daß sich die Teilbewegungen so langsam vollziehen. Denn hierdurch wird es möglich, daß Auflösung und Kristallisation, welche eine gewisse Mindestzeit beanspruchen, im Gefüge der sich beständig, aber sehr langsam aneinander verschiebenden Körner als Kristallisationsbewegung eine Rolle spielen und mehr oder weniger sogar an Stelle rupturreller Gefügedeformationen treten.

Freilich muß hier angefügt werden, daß in manchen Fällen die Vorstellung kristalliner Regenerations- oder Erholungspausen während der Durchbewegung des Gesteins mehr zum Verständnis des Gefüges beitragen dürfte. Erfolgt die Kristallisation in einer solchen Pause, für deren Dauer die Kristallisationsgeschwindigkeit der Substanz ein Minimum bestimmt, als Ausheilung von Rupturen, welche bei der Deformation erzeugt wurden, so liegt ebenfalls ein Fall von Kristallisationsbewegung vor, wie sie oben erläutert ist. Erfolgt also eine Deformation in einem Gestein, dessen Bestandteile wenigstens zum Teil mobilisiert sind, mit gleichförmiger Geschwindigkeit, so kann diese Geschwindigkeit eine gewisse Größe nicht überschreiten, ohne daß an die Stelle der molekularen Teilbewegung (Kristallisationsbewegung) mehr und mehr die ruptuelle tritt, da Auflösung und Neukristallisation der mobilen Bestandteile eine gewisse Zeit erfordert, aber eine wichtige Rolle für die Ermöglichung der Kristallisationsbewegung spielt, die oben erläuterte Abhängigkeit der Teilbewegungsgeschwindigkeit von der Größe der Teile. Ein Extrem bedeutet der Fall, daß die Teile Moleküle sind.

Schließlich ist noch darauf hinzuweisen, wie eine Faltung vor sich geht, bei welcher weder Korndeformation noch kristalline Mobilisation eine Rolle spielen. Hierfür bietet die Falte Abb. 1, aus gefalteten ungebundenen glazialen Sanden bei Innsbruck ein Beispiel. Von dieser Falte, deren Bau infolge von trockener Behandlung mit dem Gebläse in der Abbildung sehr gut hervortritt, wurde ein Präparat für das Mikroskop durch Aufkleben und Abreißen, wie es Rosenbusch beschreibt, hergestellt. Es zeigte sich, daß die besonders durch Glimmer bezeichnete Feinschichtung bei der Faltung keine Verringerung und Störung erlitt.

## II. Faltung der unteren Schieferhülle.

Die Faltungen in der unteren Schieferhülle im weiteren Sinn (einschließlich des Schneeberger Zuges etc.) wurden durch eine größere Anzahl (32) von Faltenquerschliffen untersucht. Wo es sich nicht um irgendwie besonders lehrreiche Fälle handelt, ist im Folgenden nur das Verhältnis zwischen Faltung und Kristallisation angegeben, wobei die Kristallisation aller Minerale gemeint ist, wenn nichts Besonderes bemerkt wird.

Wie zu erwarten, handelt es sich bei diesen Gesteinen in der Regel um eine von der Kristallisation überdauernde Faltung; aber es kommen charakteristische Ausnahmen vor. In sehr vielen Fällen ist nicht nur der vorkristalline Charakter der Faltung, d. h. daß die Faltung von der Kristallisation überdauert wurde, sondern auch

ihr parakristalliner Charakter sicher nachzuweisen, d. h. daß sie nach dem Beginn und vor dem Ende, also während der Kristallisation erfolgt ist. Da es sich hierbei allem Ermessen nach in vielen Fällen um eine gleichsinnige Hauptphase der Kristallisation, nämlich um die „Tauernkristallisation“ handelt, so dürfen diese Beobachtungen wohl als lokale Begründungen der Annahme gelten, daß die tektonische Deformation der unteren Schieferhülle in der Regel in die Zeit ihrer Kristallisation fällt. Diese Regel, welche Weinschenk gebührend betonte, hat, wie eingehende Gefügestudien ergaben, mehrfach charakteristische Ausnahmen.

### 1. Graphitglimmerschiefer; Faulwand, Pfossental (südl. Ötztaler Alpen).

Die durch Graphitstaublagen gut gekennzeichnete Feinschichtung ist stark gefaltet. Das Gestein ist ohne ersichtlichen Zusammenhang mit dieser Deformation gleichmäßig zersetzt (Bleichung der Biotite, Chlorit an Stelle von Biotit und Granat). Nichts weist darauf hin, daß das Gefüge mit seinen durchwegs fetzenförmig und unregelmäßig umgrenzten Bestandteilen jemals gut kristallin gewesen sei und die geringe relative (im Verhältnis zur Deformation betrachtete) Korngröße schließt eine sichere Beurteilung der Beziehung zwischen Kristallisation und Faltung aus. Es liegt also ein für diese Fragestellung unverwendbarer Fall vor, an welchem nur die Feinschichtung hervorzuheben ist. Das Gestein gehört wahrscheinlich, aber nicht sicher, der unteren Schieferhülle an.

### 2. Tremolitmarmor; Hintergrund des Pfossentales.

Tremolitlagen und quarzreiche Lagen des Gesteins bezeichnen noch die ursprüngliche Feinschichtung. Diese ist jedoch vollkommen kristallisiert durch Neubildung der kristallographisch scharf umrissenen ( $\{100\}$   $\{110\}$ ) Tremolitstengel, des großkörnigen Kalzitgefüges und des in demselben mit den charakteristischen blastischen, weichen bis tropfenförmigen Konturen schwimmenden Quarzes, zwischen dessen Körnern der Kalzit da und dort nur noch die Rolle eines Zements spielt. Längsschnitte und Querschnitte durch die Falten zeigen, daß die Tremolitstengel fast durchwegs parallel zur Faltenachse liegen, nicht nur im Faltenbogen, sondern auch in den parallelen Schenkeln. Kalzit und Quarz zeigen weder in der Form noch in den Achsen eine dementsprechende Regelung, wofern sie nicht als Zement zwischen Tremoliten oblonge Schnitte zeigen. Das mit Ausnahme geringer Beschädigungen von Tremoliten und undulöser Auslöschung der (gestreiften) Quarzkristalloblasten unversehrte Gefüge der Falten erweist die Faltung als eine vorkristalline, zumindest vor dem Ende der Kristallisation abgeschlossene.

Die Stellung der Tremolite ist am besten als eine Anpassung an das zur Faltung korrelierte Druckminimum zu bezeichnen, ohne damit genau genug erklärt zu sein.

### 3. Granatglimmerschiefer; Hintergrund des Pfossentals.

Durch fluidale Muskovitgeflechte, welche zerbrochene Granaten umfließen, ist das Einsetzen der fälteinden Druckbewegung nach der

Kristallisation von Muskovit und Granat erwiesen. Daß die Granaten Holoblasten sind, zeigen ihr Gehalt an scharfeckigen kleinen Quarzkörnchen, welche zwar meistens zonar, zuweilen aber als verlegtes *si* angeordnet sind.

Auch Biotit ist zuweilen von der Durchbewegung berührt, meist aber wohl erhalten. Dies geht, wie gewisse Stellen im Schlicke lehren, zum Teil auf die auch sonst oft zu beobachtende größere Widerstandsfähigkeit des Biotits im Vergleich zu Muskovit zurück und hängt andererseits auch damit zusammen, daß der Biotit hauptsächlich in einzelnen größeren Schuppen im Quarzgefüge liegt. Dieses ist fast unverehrt. Ob mehr infolge der Lokalisation der Teilbewegung im Muskovitgefüge oder infolge überdauernder Quarzkristallisation, ist nicht zu entscheiden.

Sicher aber ist, daß Kristallisation von Biotit (Polygonalbögen) und Quarz (Verheilung der Granatfragmente) noch nach der Umfaltung vorkommt, welche als eine wesentlich nachkristalline, immerhin aber von der Kristallisation etwas überholte Teilbewegung die Glimmerschiefer des hinteren Pfossentales im weiten Ausmaße mit vertikaler Achse umgefaltet hat. Vgl. Abb. 7.

#### 4. Amphibolit; Pfossental.

Dieses enggefaltete Gestein ist ein Muster für vollständig vor-kristalline, durch Abbildungskristallisation wiedergegebene enge Faltung. Keiner der Bestandteile Hornblende, Biotit, Plagioklas, Quarz, zeigt eine der Bewegung entsprechende Deformation.

Die Bildung seltener querer Biotitholoblasten ist in einer Zeit erfolgt, als das ganze übrige Gefüge schon in seiner jetzigen Form vorlag. Quarz-, Erz-, Hornblende sieht man unverändert als unverlegtes *si* durch diese Biotite ziehen, welche demnach zu den letzten Neubildungen gehören. Nur die Hornblende geht bisweilen nicht mit, sondern schneidet an Biotitholoblasten ab, wofür mir die Annahme, daß die Hornblendebildung nach Bildung solcher Biotite weiterging, brauchbar scheint, nachdem die Begründer der modernen Schieferlehre auf die Bedeutung der gleichzeitigen Bildung verschiedener Minerale vielfach hingewiesen haben.

Die Biotite sind zuweilen mit 0.01  $\perp$  *s* sehr oblong in *s* gediehen.

Die Hornblendenschiefer stehen mit ihren Achsen nicht parallel zur Faltenachse, so daß keine Andeutung einer zur Faltung korrelierten Streckung da ist. Vgl. Abb. 4.

#### 5. Phyllitischer Glimmerschiefer; Pfossen hinter Vorderkaser.

Dieses Gestein, dessen Feinschichtung durch Graphitstaub gut sichtbar ist, wurde intensiv umgefaltet. Im weiteren Verlauf der Durchbewegung erfolgte Bewegung im umgestellten *s* unter Zerreißen der Scharniere und Linsenbildung aus quarzreicheren Einlagen. Innerhalb dieser Linsen fand, wie die geringere Faltung ihrer Graphitschichten erkennen läßt, nicht so starke Bewegung statt wie in ihrer glimmerreicheren Umgebung. Wahrscheinlich hängt damit zusammen, daß man in ihnen noch besser entwickelte Muskovitschüppchen findet, während aller übrige Muskovit die häufige „phyllitische“ Form hat, welche sich nur bei stärkster Vergrößerung in Schuppen auflöst. Mit

Sicherheit läßt sich an den Fältchen innerhalb der Quarzlinsen feststellen, daß die Kristallisation die Fältelung überdauert hat, ob dies auch hinsichtlich der Bewegung in *s* gilt, ist nicht zu entscheiden.

6. Paragneis mit Feinschichtung durch Graphit und geröllartigen Quarzen. Schneeberg.

Die Umfaltung dieses Gesteins ist von der Kristallisation überdauert, hat aber auch ab und zu an fertigen Glimmern Spuren hinterlassen, so daß man sie als parakristallin bezeichnen kann.

7. Grünschiefer mit Ankerit; Wald über Gasteig im Ridnauntal.

Nachkristalline Faltung. Der reichlich vorhandene Albit in Form ovaloider Körner in fluidalen Biotitgeflechten, welche wohl zur Hälfte Chlorit geworden sind. Vgl. Abb. 3.

8. Glimmerschiefer zwischen den beiden Marmormänteln des Hochfeiler.

Vorkristalline Faltung mit Spuren parakristallinen Charakters: gebogene Glimmer rings umgeben von unversehrtem Gefüge.

9. Granatphyllit, Kar zwischen Rötheck, Pfunders, Hülle des Hochfeiler.

Vorkristalline Fältelung von den Granatholblasten umschlossen und nicht weiter verlegt. Abgesehen von den Granaten geringe Kristallisation.

10. Glimmerschiefer über dem tektonisch höheren Marmor der Röthelspitze, Ostwand, Pfunders, Hülle des Hochfeiler.

Starke Fältelung im allgemeinen durch große unversehrte Glimmer (Muskovit und Biotit) abgebildet, also vorkristallin. Selten korrekte Biegung an Glimmer, als Zeichen parakristalliner Bewegung.

11. Albitphyllit mit queren Biotiten, Gehänge der Kramer Spitze gegen Senges, Hülle der Zillertaler Gneise in der Sengeser Kuppel.

Größere quere Biotitholblasten mit unverlegtem gefälteltem *si* (Feinschichtung durch Graphit, Erz und Quarz) sind nach der Fältelung entstanden.

Ganz dasselbe gilt von Albittholblasten, welche, wie das überhaupt sehr häufig ist, Teile der fertigen Falten durch ein einziges Albitindividuum imprägnieren.

Die Quarzlagen und die spärlich vorhandenen Kalzite sind unversehrt.

Muskovit und die streng in *s* liegenden Biotite sind in den Faltenbögen zuweilen unversehrt, zuweilen etwas gebogen.

Demnach scheint etwas Glimmer bei Beginn dieser im wesentlichen vorkristallinen Fältelung schon vorhanden gewesen zu sein.

An den Albiten ist noch besonders ihre häufig sehr oblonge Form hervorzuheben, welche dem infolge der Fältelung ganz verschieden orientierten *s* parallel und also auch selbst verschieden orientiert ist. Da die Albite jünger als die Fältelung sind, sind sie schon mit verschieden orientierten längsten Durchmessern entstanden. Es ist also für ihre oblonge Form nicht gerichteter Druck, sondern nur der Umstand entscheidend gewesen, daß ein Gestein mit Fein-

schichtung leichter // *s* imprägnierbar ist als quer *s* (Prinzip der besseren Wegsamkeit von *s*).

12. Glimmerschiefer (Biotit, Muskovit), Gehänge der Kramerspitze gegen Senges, Hülle der Zillertaler Gneise in der Sengesser Kuppel.

Dieses Gestein ist ein sowohl gefaltetes als in größere Falten gelegtes (nach der Regel der Stauchfaltengröße) 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 kleineren 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 kristallisierten Muskovit.

Das aus isometrischen scharfeckigen Körnern bestehende Quarzgefüge zeigt keine der Faltung entsprechende Kataklase, ist also vorkristallin gefaltet. Vgl. Abb. 8.

13. Albitgneis aus der unteren Schieferhülle, Saun bei Sterzing.

Dieses Gestein gestattet einen sehr lehrreichen Vergleich mit dem später vom Wechsel beschriebenen Beispiel vollkommen nachkristalliner Durchbewegung. Denn im Gegensatz hierzu hat in diesem Falle die Kristallisation eine nicht weniger starke Durchbewegung und Umfaltung überdauert. Man findet neben immerhin noch zahlreichen, aber für die Faltenbögen nicht ausreichenden Glimmerverbiegungen viele Stellen, welche noch die wirre Orientierung der zwischen Körnern deformierten Glimmergeflechte zeigen, aber aus unversehrten Blättchen bestehend, also neukristallisiert. Die Quarzkataklasen treten zurück. Die Albite zeigen wie gewöhnlich *si* (Quarz, Muskovit) ohne Biegung.

Demnach hat hier Kristallisation der Feinschichtung und der Albite stattgefunden, sodann Durchbewegung und weiter noch Kristallisation. Die Durchbewegung ist also eine parakristalline. In einem der Präparate wurde ein gefaltetes, schon ziemlich kristallines (oblonge Quarze, Glimmertäfelchen, Epidot) Gefüge durch Imprägnation mit großen Albiten fixiert, nach deren Bildung keine Bewegung mehr stattfand.

14. Rhätizitphyllit mit Graphit; Saxalm, Venna, Brenner.

Die Rhätizite dieses Gesteins erweisen sich durch die reichliche Aufnahme des im Gestein vorhandenen Graphits und durch ihre Garbenform als Holoblasten. Ihre Kristallisation vor der faltenden Durchbewegung des Gesteins ist deutlich, denn sie sind immer in den Faltenbögen ausreichend gebogen und zerrissen. An den selteneren Fällen, in welchen die Rhätizite nicht mit *c* // *s* liegen, läßt sich erkennen, daß die ausgezeichnete Feinschichtung durch Graphit auch die Rhätizite durchziehen kann und daß der Graphit nicht immer nur nach *c* im Rhätizit geordnet ist.

Ferner ermöglicht der Graphitgehalt die Unterscheidung allothigenen und authigenen Quarzes, namentlich tritt das vollkommene Fehlen des Graphits in ovaloiden Quarzkörneraggregaten (Geröllen) in lehrreichen Gegensatz zu der Erscheinung, daß in anderen Quarzkörnerlagen jedes Korn von Graphit umgeben ist, wodurch die plastischen Konturen auch ohne Nikol gut hervortreten. Die neugebildeten Quarze dagegen enthalten selbst Graphit zuweilen sogar als schön erhaltenes *si*. Es gibt nun Fälle, wo solche neugebildete Quarze anlässlich der Faltung zerpreßt wurden. Auch ausreichende Biegung der Glimmer in den Falten ist oft zu beobachten.

Das einzige Mineral, von welchem man sicher sagen kann, daß seine Kristallisation diese im wesentlichen nachkristalline Faltung und Bewegung in *s* überdauert hat, ist Quarz; denn man findet Falten aus gebogenen Glimmern von einheitlichen, nicht entsprechend mitdeformierten Quarzindividuen gänzlich umschlossen. Vgl. Abb. 2.

15. Glimmerschieferlagen in Marmor, Huttnerbergalm, Valsertal, Brenner.

Das Präparat ist ein Querschnitt durch zwei stark gefaltete mit Marmorlagen wechselnde Lagen von Glimmerschiefer.

Sämtliche 5 Gesteinslagen bewegten sich vollständig nachkristallin wie ein fluidaler Brei in dem sich Korn an Korn verschiebt. Dementsprechend fehlt die Regel der Stauchfaltengröße. Es liegt hier ein natürliches Produkt vor, welches eine Faltung von unversehrtem Glimmerschiefer unter Umschluß durch den viel weicheren grobkristallinen Marmor, ohne kristalline Mobilisation, also ein sehr wünschenswertes Experiment vorstellt.

Die Faltung hat eine vollkommen weichfluidale Form ohne andere Elemente der Teilbewegung als die einzelnen Körner. Man würde die Umformung im Experiment als eine eminent „plastische“ demonstrieren, wobei allerdings öfter als es geschieht anzuführen wäre „mit Kornzerbrechung“.

Der Marmor hat gleichmäßig porphyroides Gefüge erhalten; in einer unauflösbaren Grundmasse mit Aggregatpolarisation schwimmen gleichmäßig verteilt die Reste der ehemaligen Körner des Marmors als vollkommen unregelmäßig, bisweilen auch unscharf umgrenzte, immer stark drucklamellierte Kristalle.

Dagegen haben die gleichmäßig in Marmor verteilten Quarzkörner mit ganz wenigen Ausnahmen sich als widerstandsfähig erwiesen, und da sie, von weicherem Marmorgefüge umschlossen, nicht aneinander gerieten, die charakteristischen blastischen Konturen von Quarz in Kalzit beibehalten. Wohl aber kam es zur Bildung von Böhmischer Streifung und Undulation.

Im Glimmerschiefer zeigt das Verhalten der Glimmer nichts Besonderes: sie sind gestaucht, gebogen und in fluidale Geflechte verwandelt.

Die Epidotstengel sind wurmförmig weich gebogen, so daß der Anschein einer stetigen Deformation entsteht. Mit starken Objektiven aber lassen sich stets Unstetigkeiten in der Auslöschung sehen: der

Kristall ist durch feine der Biegung korrelierte Rupturen in optisch verschiedene Felder zerlegt.

Dasselbe gilt bezüglich der Undulation der in *s* oblongen Quarze. Sie zeigen durchwegs Böhmsche Streifung. Es kommt auch der Fall vor, daß ein sehr oblonger Quarz in einer engen Falte vollkommen stetig gebogen ist, ohne daß nur eine Auflösung in Rupturen sichtbar wurde. Das ist die in Anbetracht meiner optischen Hilfsmittel sozusagen „relativ plastische“ Deformation des Quarzes, welcher nicht selten, aber als Teilbewegung gegenüber den anderen Arten von geringer Bedeutung ist. Bemerkenswert aber ist, daß es meines Wissens im Experiment, auch bei den großen Drucken, bisher nicht gelang, Quarz derart plastisch zu deformieren, woraus man auf den bedeutenden Druck schließen kann, unter welchem solche Naturexperimente erfolgten. Das Gestein ist das beste mir bekannt gewordene Beispiel für plastisch gefaltete Quarze.

16. Zweiglimmeriger Gneis unter dem Kalk der Kalkwand am Brenner.

Sicher ist in einigen Falten der vorkristalline Charakter der Faltung in bezug auf Muskovit und Biotit. Außerdem beobachtet man aber in den Faltungen auch mehr oder weniger unzureichende, aber doch sehr deutliche Biegung der Glimmer.

Es ist in diesem Falle nicht sicher zu entscheiden, ob diese Glimmerdeformationen nach der Abbildungskristallisation der anderen Falten erfolgte, ob also die Deformation oder die Kristallisation das länger dauernde Ereignis im Gestein war. Wahrscheinlich ist letzteres, da man unversehrtes Glimmergefüge im Innern von Falten findet, deren äußere Bögen deformierte Glimmer haben. Gewiß aber ist, daß diese deformierten Glimmer schon gut ausgewachsene Exemplare waren.

17. Muskovitglimmerschiefer; Griesbergspitze, Brenner, über dem „Hochstegenkalk“.

Von diesem Gestein gilt dasselbe wie vom eben beschriebenen. Nur spielen die Deformationen der gedrungenen Muskovite eine geringere Rolle, so daß der vorkristalline Charakter der Faltung noch besser hervortritt.

18. Amphibolit mit Gneislage aus dem peripheren Zentralgneis; Ploderalm, Tscheich im Valsertal, Brenner.

Der Amphibolit besteht in der Nähe des Kontakts mit dem Gneis, mit welchem er verfaltet ist, aus Biotit und Epidot zu etwa gleichen Teilen; Chlorit spärlich (sekundär??).

Die Faltung ist hinsichtlich aller Minerale geradezu ideal vorkristallin. Zugleich darf man sie als parakristallin in bezug auf Biotit bezeichnen, da es vorkommt, daß ein großer Biotit rings umgeben vom unversehrten Gefüge der Falte in unzweideutiger Weise der Faltung entsprechend deformiert ist (Biegung und Gleitung in [001]). Dieser Biotit enthält bereits haarscharf kristallisierte Epidote als Einschluß.

Die Verfaltung ist demnach parakristallin.

19. Glimmerschiefer, Gammerspitze bei St. Jodok am Brenner.

Dieses im Handstück an die hochkristallinen Greinerschiefer noch erinnernde Gestein der unteren Schieferhülle ist vollkommen nachkristallin gefaltet. Muskovit und Chlorit.

20. Gneisphyllit im Kalk des Kahlen Wandkopf, Schmirntal, Brenner.

Vollständig nachkristalline Faltung und Phyllitisierung eines Biotitgneises ohne Diaptyreose.

21. Knollengneis, Krierkar b. Hintertux im Liegend des Schmittenberg-Kalkes.

Die Falten sind teils Polygonalbögen, teils treten Glimmerbiegungen hinzu. Parakristalline Faltung wahrscheinlicher als zwei verschiedene Deformationsphasen.

22. Hochstegenmarmor mit gefalteten Lagen kristallinen Hornsteins. Höhlner Tuxertal.

Das Gefüge der gefalteten Marmorlagen zeigt keinerlei Korndeformation, abgesehen von Zwillingslamellen.

Mit dem Verlauf des Falten-Querschnitt getroffenen Systems wechselnder Marmor und Hornsteinlagen stimmen sowohl innerhalb des Marmors als innerhalb des Hornsteins Andeutungen von Feinschichtung überein. So sind im Hornstein die allenthalb gleichmäßig eingestreuten winzigen Kalzitfüllungen der Intergranularräume des Quarzgefüges in diesem Sinne lagenweise etwas dichter gesät. Der faltende Druck ist dieser Schichtung gleichgerichtet erfolgt. Normal zur Schichtung und normal zu diesem Druck hat sich das Quarzgefüge in zweifacher Hinsicht geregelt.

Die als Quarzgefügeregel vom Verfasser schon öfter beschriebene Regelung der *c*-Achsen ist da und dort wahrnehmbar, spielt aber keine bedeutende Rolle.

Durchgreifend aber und als ein seltener Fall sehr hervorzuheben ist die Einstellung der stark oblongen und mit langen Fortsätzen ineinander greifenden Quarzindividuen, welche mit ihren langen Durchmessern normal auf die Schichtung und normal auf die Pressung stehen und so eine auf die Schichtung normale Schieferung herstellen. Das bedeutet einen Fall von echter Clivage in fast reinem Quarzgefüge, welches derzeit so geringe Spuren von Kataklase zeigt, daß der vorkristalline Charakter dieser Faltungen sicher ist. Demnach wurde hier der Hochstegenmarmor mit seinen hornsteinartigen Einschlüssen vor Abschluß der Kristallisation gefaltet.

Es gibt Stellen im Schlift, wo sich die Quarzkörner nicht mehr berühren, da sich trennender Kalzit zwischen sie mengt. Sobald dies eintritt, ist es mit der oblongen Form der Quarzkörner vorbei. Die Regelung nach längeren Durchmessern findet nur statt, wenn sich die Quarzkörner berühren; vielleicht, weil zur Zeit der Regelung eine Leitung gerichteten Druckes im Kalzitgefüge nicht möglich war. Die Hornsteinfalte zeigt keinerlei Abbildung von Biegetrajektorien. Ihre Clivage ist nach der Meinung des Verfassers ein Fall, welchen wohl

nur Beckes Anwendung des Riekeschen Prinzips erklären kann. Bemerkenswert ist hierbei, daß die Quarzgefügeregel keine Rolle spielt. Dagegen ist es mit dem Gips ersichtlich, daß größere Gruppen sich berührender Körner zu einer jeweils mit den Achsen ähnlich orientierten gelben oder blauen Insel zusammentreten. Diese Inseln sind, wie die Einzelkörner, häufig oblong in *s* und ebenso mit Buchten und langen Armen ineinander verzahnt. Solche Fälle subparalleler Kornverwachsung erklären sich manchmal, wie andernorts beschrieben, durch mechanische Zerlegung größerer Individuen. Vielleicht spielt in anderen Fällen und auch hier das bekannte Bestreben kristalliner Stoffe, mit möglichst parallelen Achsen zu verwachsen (nämlich aneinander zu kristallisieren oder auch zu verschweißen) eine gewisse Rolle.

### Übersicht.

1. Im Schneeberger Zug überwiegt vorkristalline Faltung, parakristalline kommt bisweilen vor, rein nachkristalline wurde nur an der Grenze des Schneeberger Zuges gegen das südlich folgende Altkristallin gefunden.

2. Die untere Schieferhülle der Zillertaler Gneise zeigte in der Hochfeilerkuppel vorkristalline Faltung, weiter westlich in der Sengeser Kuppel vorkristalline und parakristalline.

3. Die untere Schieferhülle westlich und nördlich der Tuxer Gneise zeigte

*a)* vorkristalline Faltung im Zentralgneis (der Tscheichalm), im Hochstegenkalk (Höhlner im Tuxertal) und noch über dem tiefsten Marmor (Griesbergspitze);

*b)* parakristalline Faltung (in der tektonischen Einschaltung der Kalkwand am Brenner); über dem tiefsten Marmor, in der über den Hochstegenkalk gefalteten Gneisdecke (Krierkar);

*c)* nachkristalline Faltung in den Rhätizitschiefern der Saxalm, im tiefsten Marmor und Glimmerschiefer der Huttnerbergalm, im Gneisphyllonit des Kahlen Wandkopf, an der Gammerspitze. In den beiden letzten Fällen handelt es sich wahrscheinlich um Abfaltungen von der Schieferhülle.

In den von der Tauernkristallisation ergriffenen Gebilden der unteren Schieferhülle (im stratigraphischen Sinne) ist also die Faltung im allgemeinen jedenfalls vor Abschluß der Kristallisation erfolgt. Außerdem ist es zuweilen noch nachweislich, daß sie vor der Hauptphase der Kristallisation und wieder in anderen Fällen während der Kristallisation erfolgte. Diese Regel, daß die Faltung von der Tauernkristallisation überdauert ist, hat ihre bereits anläßlich der Besprechung der Bewegung in *s* hervorgehobenen Ausnahmen: Sie tritt desto mehr zurück, je weiter man sich vom Zentralgneis entfernt (abgesehen von ihrer ausgesprochenen Geltung für den Schneeberger Zug), ferner am Nordrand der Gneise in der Rensenzone, d. h. am Südrand der gesamten Schieferhülle.

Zur Frage, ob die kristalline Mobilisation, etwa wie in manchen Kontakthöfen, die Faltung begünstigt habe, ergeben die Präparate keinen Beitrag. Die Kristallisation spielt sowohl als Teilbewegung

der Faltung (z. B. Ausheilung von Rupturen) eine Rolle als auch indem sie fertige Falten durch oft sehr ungefüge große Kristalle abbildet. Letztere Rolle scheint mir die wichtigere, ist allerdings auch leichter nachzuweisen, weil bei einer gewissen Größe der Kristalle im Verhältnis zur Falte die nachträgliche Kristallisation ganz deutlich wird.

Es ist also im allgemeinen wahrscheinlich, daß die Kristallisation nach der Deformation in Ruhe erfolgte. Wahrscheinlich bedeutete die Kristallisation mit ihren derben Glimmer- oder Hornblende-Holoblasten oder der fast lückenlosen Imprägnation mit Albit oder Granat oft geradezu die mechanische Erstarrung des Gesteins nach einer Phase größerer Gefügebeweglichkeit.

Jedenfalls machen sowohl die Beobachtungen an s als an den Falten vorsichtig in der Annahme von Kristallisation als Teilbewegung (Kristallisationsbewegung), welche übrigens die Annahme einer nicht überschrittenen Maximalgeschwindigkeit der Deformation verlangt, wenn sie vorwalten soll.

---

### III. Faltung im Altkristallin.

Aus dem Altkristallin wurde eine Anzahl von Beispielen für vorkristalline und für nachkristalline Teilbewegung untersucht, welche letztere in einigen Fällen mit Diaphthorese verbunden war. Nach diesem Gesichtspunkte werden die Gesteine zuletzt geordnet, vorerst aber in anderer Reihenfolge besprochen.

1. Amphibolit vom Gröllnerjoch bei Peus, Sarntal. Von diesem im vorliegenden Querschnitte lebhaft gefalteten Massengestein wurde bereits andernorts hervorgehoben, daß seine starke Durchbewegung in die Zeit vor der vollständigen Erstarrung fiel und von Selbstinjektionen des Gesteins mit sauren Resten begleitet war. Mit diesem Befund im Felde stimmt es gut überein, wenn wir im Schliffpräparat ein Musterbild vorkristalliner Amphibolitfaltung hierin vergleichbar mit dem aus der unteren Schieferhülle des Pfoßentalles beschriebenen Amphibolit vorfinden. Das Gefüge (Hornblende und Plagioklas) besteht trotz der intensiven Faltung in einem dicht geschlossenen Mosaik ohne jede mechanische Deformation der Körner, wenn man von Verbiegungen an Chloritblättchen absieht. Die Hornblende liegt in den Scharnieren nicht parallel mit den Faltenachsen, wie dies bei vorkristallin gefalteten Amphiboliten zuweilen vorkommt. Es ist also kein Zeichen von Streckung vorhanden. Auch scheint mir die Stellung der Hornblende quer zur Faltenachse an und für sich geradezu gegen die Annahme zu sprechen, daß die Kristallisation der Hornblende als Differentialbewegung der Faltung erfolgt sei. Denn es wäre in diesem Falle Parallelstellung zwischen Hornblendestengeln und den Achsen der engen Falten wohl eher zu erwarten.

2. Als Muster eines nachkristallin umgefalteten Amphibolits, dessen starke Teilbewegungen durchwegs rupturrell erfolgt sind, erwies sich der Amphibolit der Breitenau in Steiermark. Auch tritt in

diesem Falle Chloritisierung gänzlich zerquetschter Hornblenden, also Diaphthorese im engsten Zusammenhang mit der Gefügebewegung selbst auf.

3. Andernorts wurde auf die Verfaltung der altkristallinen Unterlage der Kalkkögel bei Innsbruck mit dem Kalkmesozoikum hingewiesen. Dieser Unterlage aus Stubai Gneis wurden an mehreren Stellen Falten entnommen. Übereinstimmend mit der nachkristallinen *n d s* dieser Gesteine wurde gänzlich nachkristalline Umfaltung gefunden bei Proben von der Starkenburger Hütte und aus einer tektonischen Gneiseinschaltung in den Dolomit des Burgstall (Stubai). Mit dieser nachkristallinen Umfaltung ist Diaphthorese verbunden. Dadurch treten diese Gesteine in bemerkenswerten Gegensatz zu später zu beschreibenden Umfaltungen im Altkristallin, welche ebenfalls nachkristallin aber ohne Diaphthorese vor sich giengen (Pustertal s. u. pag. 617). Nicht so einfach liegen die Verhältnisse in den Präparaten, welche vom Sonntagsberg bei der Pichlerhütte, also in einiger Entfernung von der Kalkkögeltrias dem Kristallin entnommen wurden.

Die Falten von der Starkenburger Hütte zeigen serizitische (Muskovit?) Zerschmierung von Feldspaten, Verwandlung der Glimmer in Geflechte und Kataklase des Quarzes. Biotit fehlt, vielleicht war er an Stelle des sehr spärlichen Chlorits vorhanden. Diese Umwandlungen begleiten als *d s* die Umfaltung. Diese Gesteine mag man also Diaphthorite nennen.

In dem stark umgefalteten granat- und staurolithführenden Glimmerschiefer vom Sonntagsberg sieht man herrschend ein Musterbild vor-kristalliner Faltung, deren unversehrte Glimmergebälke keine Beziehung zur Faltung besitzen als die Anordnung in engen Bögen. Von allen anderen hier angeführten Gesteinen aber unterscheidet sich das vorliegende, indem es da und dort wie Inseln im spiegelklar kristallisierten Gefüge Stellen stärkster Diaphthorese zeigt, an welchen fast restlos glimmerig zersetzte große Plagioklaskörner die Hauptrolle spielen. Es liegt also ein Gestein vor, in welchem progressive und regressive Metamorphose in Extremen unmittelbar nebeneinander auftreten.

Welches Verhältnis haben diese Metamorphosen zueinander und zur Teilbewegung im Gefüge? Sind diese Metamorphosen gleichzeitig erfolgt oder wie das Regel ist, die regressive nach der progressiven, oder sind die „diaphthoritisch“ zersetzten Feldspate Reste einer früheren Phase, welche von der progressiven Neukristallisation sozusagen nicht bewältigt wurden?

Betrachtet man mit Bezug auf solche Fragen Mineral für Mineral, so findet man Granaten als frühzeitig gebildete Holoblasten. Darauf weist ein sehr feinkörniges, hauptsächlich aus Quarz bestehendes *si*, welches als alte, noch ungefaltete Feinschichtung die Granaten durchzieht, gänzlich verlegt gegen das jetzige hochkristalline und großkörnige *se*. Ebendahin weisen Fälle, in welchen sich wohl ausgebildete Biotite als unversehrter Rahmen an die Dodekaederflächen des Granaten haarscharf eng anlegten. Frühzeitig erfolgte also in einem fein-

geschichteten Gestein die Bildung von Granatholblasten, bekanntlich ein häufiger Fall.

Anzumerken ist, daß es auch Granaten gibt, welche bereits einen Kern aus entmischtem und chlorisiertem Biotit, Plagioklas und Quarz umschließen. Von den zahlreichen Staurolithen zeigte nur einer *si* (Quarz), was lediglich ihren holblasten Charakter zeigen mag.

Nach Beginn der Kristallisation, nach Bildung der Granaten mit ungefaltetem, jetzt verlegtem *si*, erfolgte noch vor der Hauptphase der Glimmerbildung (Muskovit und Biotit) die Umfältelung. Der parakristalline Charakter dieser Gefügebewegung ergibt sich daraus, daß die von ihr erzeugten Faltenbögen vielfach durch unverkehrte Glimmergebälke abgebildet sind. Nachdem der wesentliche Teil der Umfaltung vorüber war, erfolgte der wesentliche Teil der Glimmerkristallisation.

Eine weitere Phase in der Entstehung dieses Gesteins bildet nun die Kristallisation der Plagioklase. Denn diese Holblasten haben Teile der bereits aus hochentwickelten Biotiten und Muskoviten bestehenden Faltenbögen als unverlegtes *si* umschlossen.

Bis daher zeigt das Gestein progressive Kristallisation und Teilbewegung in einem häufig zu beobachtenden und gut deutbaren Verhältnis. Die nun folgende Gefügebewegung und Diaphthorese erweist sich dadurch als eine jüngere, daß sie augenscheinlich bereits in derselben Form wie die unbeschädigten Holblasten fertig ausgebildete Kristalle ergriff oder, anders gesagt, lokal in dem bisher beschriebenen Gefüge auftrat. Zunächst ist eine lokale, bisweilen sehr intensive nachkristalline Teilbewegung zu unterscheiden, die vorkristalline Deformation durch Bewegung im umgestellten *s* gleichsinnig fortsetzt. Sie braucht sich deshalb zeitlich nicht unmittelbar an dieselbe angeschlossen zu haben, sondern hätte nach der oben gewonnenen Anschauung über die Kristallisation lediglich vorgebildete Bahnen benützt und weiter gebahnt.

Der nachkristallinen Teilbewegung gehören auch heftige Knetungen ganz frischer Biotite und Muskovite an, so daß man keinen ausnahmslosen Zusammenhang zwischen ihr und der Zersetzung behaupten darf. Unzweifelhaft aber scheint mir, daß die Entmischung (Oxydstaub und Sagenit) und Chloritisierung der Biotite, die Verglimmerung der Plagioklase an Sprüngen und bei glimmeriger Zerpresseung und Zerschmierung vielfach im Gefolge dieser Differentialbewegung auftritt, vielleicht nicht als Modus derselben, aber von ihr vorbereitet. Auch die Zerbrechung von Staurolithen, in deren Klüfte Glimmer eingepreßt sind, gehört noch in diese Phase des im Gefüge komplizierten, aber infolge seiner Faltung gut analysierbaren kristallinen Schiefers.

#### 4. Staurolithschiefer aus dem Falbenairtal, Langtaufers.

Dieses Präparat, dessen Material ich meinem Freunde Hammer verdanke, zeigt in den Faltenquerschliffen ein Musterbild nachkristalliner Faltung an einem hochkristallinen Schiefer. Man kann wieder beachten, daß die Diaphthorese durchaus nicht ohne weiteres mit Durchbewegung zu identifizieren ist, denn dieses Gestein enthält

weit weniger Diaphthoritmerkmale als manche andere Gesteine, deren nachkristalline Teilbewegung viel geringer ist.

Die Chloritisierung oder Entmischung des durchwegs sehr stark zerkneten Biotits ist eine Seltenheit und findet in Gestalt rosettenförmiger Aggregate statt ohne direkten Zusammenhang mit der Durchbewegung, wengleich wahrscheinlich im Gefolge derselben. Verglimmerung der Feldspate ist etwas häufiger. Staurolith und Granat haben lediglich Zertrümmerung erlitten. Größere Quarze und Plagioklase erweisen sich durch ein nicht weiter ausdeutbares *si* als Holoblasten. Die auffällig geringe Kataklyse des sonst sehr empfindlichen Quarzes scheint mir darauf hinzuweisen, daß die Quarzkristallisation die Deformation überdauerte. Die in tektonischen Fazies häufige Quarzgefügeregel fehlt.

5. Granat-Staurolith-Glimmerschiefer vom Ederwiesl über Pens im Sarntal.

Dieses Präparat, aus dem stellenweise bis zum Arteritcharakter imprägnierten Glimmerschieferzug Meran—Taufertal zeigt die größte Übereinstimmung mit dem eben beschriebenen gefalteten Öztaler Glimmerschiefer.

Auch hier ist bei intensivster nachkristalliner Faltung und Bewegung in *s*, welche sich an den beiden Glimmern und Staurolith am stärksten äußert, die diaphthoritische Zersetzung ganz gering, namentlich die Frische stark zerpreßter Plagioklase auffällig. Man findet Zersetzung stark gepreßter Granaten und eine feinstem Serizitgewebe ähnliche Zersetzung der Staurolithe längs Sprüngen und am Rande isolierter Trümmer.

6. Glimmerschiefer, Taserbauer bei Meran.

In dieser Probe aus demselben Glimmerschieferzug liegt ein Beispiel für vorkristalline Falten, vor deren Bögen von unversehrten Glimmern abgebildet sind. Diaphthorose fehlt. Im Kern der Falte herrscht der Pressung entsprechende Quarzgefügeregel, vielleicht ein Hinweis auf grobmechanische Quarzdeformation vor der Neukristallisation. Denn die Regel ist für mylonitische Schieferung charakteristisch. Vgl. Abb. 5.

7. Glimmerschiefer, Penserjoch (Sterzing—Sarntal).

Ganz allgemein und ohne Beziehbarkeit auf die Umfaltung herrscht Chloritisierung und schwache Kataklyse der Quarz- und Feldspatkörner. Die Faltung dürfte nachkristallin sein, jedoch ist das wegen der geringen Korngröße nicht festzustellen. Je geringer die Größe eines Gefügeelements im Verhältnis zur Größe des deformierten Körpers ist, desto geringer und also auch desto schwieriger wahrnehmbar wird der absolute Betrag der Teilbewegung der Elemente gegeneinander. Dieselbe Deformation, welche in einem grobkörnigen Körper zu starken Korndeformationen oder zu dem absoluten Betrage nach großen Verschiebungen der Körner aneinander führt, könnte c. p. dieser Körper bei kleinerem Korn ohne so große Gefügebewegungen erleiden. Nach dieser Regel, welche auch geologisch zum Ausdruck kommt, eignen sich Falten mit sehr kleinem Korn schlecht

für die Entscheidung zwischen vorkristalliner und nachkristalliner Deformation. Im vorliegenden Falle machen nur einzelne größere geknetete Glimmer nachkristalline Faltung wahrscheinlicher.

8. Biotitgneis vom Jaufen zeigt in Gestalt einer spitzen Falte unversehrten Gefüges vorkristalline Faltung.

9. Gelneg bei Mauls. Gefalteter saurer Gang in Biotitgneis. Die Faltung ist vollkommen nachkristallin und mit starker Zersetzung verbunden.

10. Granatamphibolit mit Chlorit. Hintergrund des Altaßtales (Pustertal).

Den Kern der isoklinalen Spitzfalte bildet ein Quarzgefüge aus großen verzahnten Körnern mit geringer Kataklyse. Hieraus ergibt sich mit Sicherheit, daß die Faltung von der Quarzkristallisation überdauert ist.

An den sehr kleinen Körnern von Quarz, Plagioklas, Granat, Zoisit und Hornblende ist nichts Entscheidendes festzustellen. Größere Chlorite, sekundär aus Biotit, sind zuweilen gebogen. Sichere Spuren nachkristalliner Deformation zeigt also nur der Chlorit, doch ist das Verhalten der übrigen Bestandteile wegen geringer Korngröße nicht eindeutig.

11. Gefaltete Granit- und Aplitgänge in altkristallinen Schiefen des Altaßtales (hinteres Altaßtal, orogr. linkes Gehänge).

a) Turmalinaplit liegt als kleiner Lagergang in Glimmerschiefer. Beide werden von einem Granitgang quergeschnitten.

Der Zwickel aus Glimmerschiefer zwischen den beiden Gängen ist stärkstens durchgeknetet und gefältelt. Die Teilbewegung ist eine vollkommene nachkristalline, was besonders Biotit und Muskovit illustrieren. Diaphthorese fehlt.

Gleiches ist überaus deutlich in der jüngsten, granitischen Intrusion; weniger deutlich, wie zu erwarten, an dem älteren feinkörnigen Turmalinaplit. Da die starke Durchbewegung jünger als der Granit ist und also auch jünger als der Aplit, so wird in diesem Falle anschaulich, daß geringe Korngröße geringe Korndeformation begünstigt.

Alle drei Gesteine sind nachkristallin ohne Diaphthorese durchbewegt,

b) Querschliffe durch enggefaltete ptygmatitähnliche Aplitgänge mit sehr turmalinreichen Bändern zeigen deutlich den nachkristallinen Charakter der Faltung. Sowohl im Intrusiv als im Glimmerschiefer fehlt Diaphthorese. Unversehrte Turmaline fallen auf.

Nach diesen Beispielen erscheint nachkristalline Faltung der intrudierten Glimmerschiefer und ihrer Gänge häufig, worin ein Unterschied von den vorkristallin deformierten Ptygmatiten bei manchmal großer äußerer Ähnlichkeit liegt. Hiermit läßt sich die schon viel früher beobachtete (Sambok bei Bruneck etc.) Faltung dieser Glimmerschiefer und ihrer Intrusionen nach der Intrusion gut vereinbaren. Die geringe oder fehlende diaphthoritische Zersetzung der gefalteten Gesteine harmoniert sehr gut mit der Beobachtung an den ohne Diaphthorese durchbewegten und phyllitisierten Augengneisen dieser Zone (Passenjoch).

Fast für das ganze hier aus dem Tiroler Altkristallin untersuchte Material an Schliften durch Falten (ca. 20 Schlifflöcher) ergab sich also nachkristalline Faltung; mit diaphthoritischer Zersetzung (z. B. Stubai Schiefer unter den Kalkkögeln) oder ohne solche (z. B. Pustertal).

In betreff des Verhältnisses der Diaphthorese zur Faltung ergab sich folgendes:

Von gleich stark nachkristallin umgefalteten Gesteinen hat die Diaphthorese manche lokal, manche allgemein aber schwach, manche gar nicht ergriffen, ohne daß in Mineralbestand und Intensität der Durchbewegung die Ursache dieser Verschiedenheit liegen kann. Die diaphthoritische Zersetzung erscheint in vielen Fällen als ein Vorgang, welcher ohne primären Zusammenhang mit der Differentialbewegung (etwa als eine Form derselben), die bereits deformierten Gefüge ergreift. Da dies aber bisweilen an den stärksten durchbewegten Stellen am stärksten geschieht, scheint der Durchbewegung eine die Diaphthorese erleichternde Rolle zuzukommen. Nicht ausgeschlossen ist es, daß in manchen Fällen Zersetzung und Teilbewegung einander gegenseitig wechselweise steigern und lokalisieren, ohne daß man mit Sicherheit die Diaphthorese als einen Modus der Teilbewegung deuten könnte.

## 12. Albitgneis von St. Corona am Wechsel.

Mohr hat (1912, Denkschr. d. Akad. d. Wissensch., 88. Bd., pag. 651, *ibid.* 1913, 82. Bd., pag. 330, Fußnote pag. 377) die Frage aufgeworfen und zum Teil bejaht, ob der Tauernhülle und den Wechselgesteinen Albitgesteine und Grauwackengesteine gemein sind. Da übrigens die Albitgesteine der Tauernhülle schon lange von Weinschenk beschrieben waren und später vom Verfasser (Denkschr. d. Akad. der Wissensch. 1911, 82. Bd., pag. 296 ff., Jahrb. der k. k. geol. Reichsanstalt 1912, pag. 277 ff.) da ferner vom Verfasser die Wechselgesteine schon direkt mit Tauernhülle verglichen worden waren und beide mit der Grauwackenzone (vgl. 1910 Verhandlungen der k. k. geol. Reichsanstalt, Nr. 16), so waren Mohrs Fragen schon bejaht, ehe er sie aufwarf. Unter solchen Umständen schien ein Vergleich zwischen der Faltung der Albitgneise vom Wechsel und der Albitgneise der Tauern angebracht.

An mehreren Stellen war bereits von der Gefügebewegung dieser in der unteren Schieferhülle und im Wechselgebiet häufigen Albitgesteine die Rede. Da ich nur bei St. Corona für mich passende schleifbare Faltungen fand, werden erst spätere Untersuchungen ergeben, wie weit für die Wechselgneise das hier erörterte Verhältnis zwischen Kristallisation und Teilbewegung gilt.

Die Quer-Dünnschliffe der Faltungen (Scharniere mit einigen Zentimetern Schenkeldistanz und Höhe) zeigen folgendes:

Die Glimmer (Muskovit und Biotit) zeigen intensive Fältelung und *nd*s nach der Kristallisation. Sie sind verbogen und in fluidale Geflechte verwandelt, welche die augenförmigen Albitkörner umfließen. Die stärkere Knetung der Glimmer an den Scharnierenden ist deutlich. Diese Albite zeigen vollkommen den Habitus der aus der unteren

Schieferhülle beschriebenen auch hinsichtlich ihres *si* (stark oblonge Quarze, Muskovit, etwas Biotit). Dieses ist immer stark verlegt. Außerdem erweisen auch Zerpressungen der Albite, welche in den Scharnieren am stärksten werden, *n d* nach der Kristallisation und korrelat zur faltenden Deformation.

Besonders deutlich wird es an den Quarzen, daß die starke nachkristalline Gefügebewegung eine vollkommen ausreichende Teilbewegung der Faltung ist. Denn die stark kataklastischen Quarze sind dem Drucke in den Faltenknien entsprechend im Stengel zerpreßt und geregelt, wie dies schon an Quarziten vom Verfasser beschrieben wurde.

Ganz wie die Albitgneise der Schieferhülle erlebte dieses ursprünglich feingeschichtete Gestein Kristallisation der Feinschichtung bis zu einem gewissen Grad sodann Albitisation und stärkste nachkristalline *n d s* mit Umfaltung. Vor der Albitisation hat keine Faltung stattgefunden, wie das vollkommen unversehrte und geradlinig laufende *si* zeigt. Zuweilen ist aller oder fast aller Biotit Chlorit geworden. Diese Chloritisierung findet mehr oder weniger ausgedehnt statt in Biotitgeweben, welche bereits unter Herausbildung der Fetzengform der Biotite durchbewegt sind, also als lokale Veränderung nach der Gefügebewegung und nicht unmittelbar abhängig von derselben, etwa nur an den stärksten deformierten Stellen; wie das ja auch vorkommt. Ähnlich wie die Verglimmerung der Albite kann also die Chloritisierung sowohl statisch als in Form einer Deformationsmetamorphose im engeren Sinn auftreten.

Durch die starke vollständig nachkristalline Teilbewegung unterscheidet sich das Gestein von St. Corona von umgefaltetem Albitgneis aus der unteren Schieferhülle am Saun bei Sterzing (vgl. pag. 608), dessen Umfaltung stark von der Kristallisation überholt ist.

13. Granatphyllit und -Glimmerschiefer des Turraachtals, Steiermark. Diese Gesteine sind umgefaltet oder in größeren Falten bis zum Verschwinden der spitzen Scharniere umgefaltet.

a) Umgefalteter Granatphyllit.

Die Granaten zeigen in einem unregelmäßig umrissenen Kern meist nur eine schwache Andeutung der in den Randpartien vorzüglich ausgeprägten internen Reliktstruktur. Diese Kerne könnten entweder primär-klastische Körner sein, was das Fehlen von *si* erklären würde. Oder man kann annehmen, daß das Wachstum der Granatloblasten anfänglich ohne Aufnahme von *si* erfolgte, wofür man genug Beispiele kennt, ohne freilich eine sichere Ursache angeben zu können. Für die zweite Annahme spricht es, daß meistens *si* im Kern nicht ganz fehlt, sondern lediglich bedeutend schwächer ist, *si* besteht aus feingeschichtetem Quarz mit Erz und Opazit, meist gänzlich ungefaltet, manchmal mit beginnender Umfaltung. In solchem Gefüge erfolgte also die Granatbildung und Bildung von Muskovit und viel spärlicheren Biotitlamellen; sodann erfolgte die wesentlich nachkristalline Umfaltung, welche die Glimmerlamellen bog, knickte und an den Granaten staute, welche das ruhige *si* davor bewahrten. Hierbei erhielten zuweilen die Granaten

Risse, welche der auch nach der Durchbewegung noch mobile Quarz verheilte. Bis auf die reliktfreien Kerne der Granaten habe ich gleiches in der unteren Schieferhülle gefunden. Diaphthorese fehlt völlig.

b) Umgefalteter Glimmerschiefer (Muskovit, Biotit, Quarz).

An einem Querschnitt durch eines der vollkommen ausgespitzten Scharniere läßt sich sehr gut vorkristalline und nachkristalline Teilbewegung derselben Deformation trennen. Die zentralen Teile des Scharniers, wenn bei einer so enggeschlossenen Falte mit parallelen Schenkeln der Ausdruck zentral erlaubt ist, zeigen die Umbiegung ausgeführt durch fast durchwegs unversehrte große Biotite, deren Polygonalbögen das typische Bild für eine von der Kristallisation gründlich überdauernde Deformation aufweisen. In den dieses Quarz-Biotitgefüge umhüllenden Bögen zeigen die Glimmer, besonders aber der Muskovit, die Zeichen stärkster nachkristalliner Teilbewegung, Biegung und Glimmergeflechte durch *nds*. Ebenso hat intensive nachkristalline *nds* in den parallelen Faltenschenkeln stattgefunden.

Mehrere Ursachen dürften diese Sachlage bewirkt haben. Der Kern des Scharniers war durch reichlichen Quarzgehalt versteift und bot in seinem mechanischen Schutzbereich dem kristallisierenden Biotit Ruhe vor weiteren Differentialbewegungen. Auch die Muskovite gediehen hier zu großen unversehrten Schuppen. Dagegen nahm der Muskovit außerhalb dieses Bereiches fast die ganze weitere Differentialbewegung auf. Hiermit dürfte zusammenhängen, daß auch in den Muskovitgeflechten noch fast unversehrte Biotitgebälke vorkommen.

Jedenfalls liegt hier ein sehr deutlicher Fall von Umfaltung während und nach der Glimmerkristallisation vor; ohne Diaphthorese.

14. Glimmerschiefer von Ramingstein im Lungau. Vorkommen umgefaltet.

Die Granaten dieses Glimmerschiefers sind sehr oft oblong. Sie nehmen in solchen Fällen zwar verschiedene Stellungen gegenüber *s* ein, stimmen jedoch in der Längsrichtung genau mit ihrem *si* überein, welches gewöhnlich ausgezeichnet sichtbar ist. In einem Gestein mit Feinschichtung und feinem Korn fand also die Kristallisation von Granaten statt, deren zuweilen in oblonge Form wohl durch die leichtere Stoffzufuhr in *s* zustande kam. Diese Feinschichtung vor der Granatbildung zeigt nie eine Spur von Fältelung. Durch die folgende Differentialbewegung im Gestein ist *si* fast stets verlegt. Dagegen ist die Umfaltung von der Kristallisation von Biotit, Muskovit und Quarz überdauert, demnach, wenn man auch den Granat in Betracht zieht, eine parakristalline. An Stelle der Biotite treten bisweilen feinstkörnige Aggregate.

*si* im Granat enthält außer isometrischem und oblongem, scharf-eckigem Quarz auch noch Erz und schon wohlgebildete Biotitschüppchen. Demnach waren solche schon vor der Durchbewegung vorhanden und wir haben das jetzige Biotitgewebe daraufhin zu betrachten. Dieses erweckt vielfach den Eindruck, daß die Regeneration größerer zer-

störter Biotite zuweilen keine vollkommene geworden ist, sondern an Stelle derselben Aggregate mit Siebstruktur treten. Vielleicht ließe sich diese Vermutung an einem größeren Schriffmaterial beweisen.

### Übersicht.

Die Beispiele aus altkristallinen Arealen erlauben folgende Hinweise:

Vorkristalline Faltung erfolgte in den schon vor ihrer gabbroiden Erstarrung durchbewegten Amphiboliten vom Weißhorn im Sarntal, welche hierbei auch Selbstinjektion mit sauren Resten erlitten.

In dem Zuge von Altkristallin nördlich vom Brixner Granit wurde außerdem vorkristalline Faltung noch nachgewiesen in mineralreichen Glimmerschiefern vom Thaser Hof bei Meran und in einem Beispiel vom Jaufen. Bezeichnend aber ist für diesen Gesteinszug nachkristalline Faltung meist ohne zugehörige Diaphthorese (Langtaufers, über Pens, Penserjoch, Mauls) und besonders ist das von den der äußeren Form nach oft Ptygmatiten gleichenden Faltungen der Aplit- und Granitgänge im Glimmerschiefer (Altfalstal) anzumerken.

Nachkristallin mit korrelater Diaphthorese ist die Verfaltung der Stubai Gneise mit dem Mesozoikum der Kalkkögel. Im Osten wurde in den Amphiboliten der Breitenau (nördl. Graz) nachkristalline Faltung mit Diaphthorese gefunden und im Albitgneis des Wechsel, der sonst den Tauernalbitgneisen vollkommen entspricht, nachkristalline Faltung.

Auch für parakristalline Faltung wurden im Osten (Lungau) Beispiele gefunden.

## IV. Faltung in phyllitischen Gesteinen.

Das Material für diese Schriffe wurde folgenden Gebieten entnommen: Quarzphyllit südl. des Brixner Granits (12 Schriffe); Quarzphyllite und Kalkphyllite der oberen Schieferhülle einschließlich der Tuxer Phyllite und ihrer Einlagen sowie der Tarntaler Phyllite (18 Schriffe); Quarzphyllit der Tuxer Voralpen einschließlich Nöblacher Joch und Turrach in Kärnten (7 Schriffe).

Damit, daß die hier zusammengestellten Gesteine im Vergleich zu Altkristallin und unterer Schieferhülle arm an Neubildungen sind und ihr Korn sehr klein ist, wird die Aufgabe, Beziehungen zwischen Kristallisation und Teilbewegung zu untersuchen, zuweilen schwierig, zuweilen unlösbar.

1. Albitphyllit mit gefalteten Quarzgängen, Rienzschlucht bei Brixen.

Im Brixner Quarzphyllit findet man sehr häufig und in verschiedenster Mächtigkeit weiße Quarzgänge, welche mit schlängelnden weichen bogigen Scharnieren stärkstens gefaltet sind, mit ausgezeichnet ersichtlicher Regel der Stauchfaltengröße. Man kann sie insofern „Gänge“ nennen, als sie derzeit mehr oder minder quer zur Schieferung verlaufen. In den bisher untersuchten Schriffen zeigt es sich aber, daß es sich vor der Faltung um Quarzlagen in *s* handelte.

Bei der Faltung auf Druck ungefähr // *s* wurden solche Quarzlagen, welche zuweilen selbst wieder Feinschichtung durch Wechsel in der Korngröße und Glimmerlagen erkennen lassen, gemäß ihrem ziemlich großen Widerstand zu größeren oder kleineren Falten gestaut nach der Regel der Stauchfaltengröße. Korrelat hierzu wurde die Feinschichtung des Phyllits in winzigen Falten mit oder ohne Zerreißung der Scharniere umgestellt und dieses umgestellte *s* verläuft nun mehr oder weniger quer zu den Quarzlagen, ist aber nur eine andere Reaktion eines anderen Materials auf ganz dieselbe Beanspruchung des Gesteins, welche die Quarzlagen schlängelte. Dieser Vorgang: Druck ungefähr in *s*, feinste Umfältelung des Phyllitgefüges und Schlingelung der festeren Einlagen ist etwas in den Tiroler Phylliten und überhaupt in Schiefen weit verbreitetes. Dieselbe Regel der Stauchfaltengröße, welche Profile beherrscht, kommt hier unter dem Mikroskop zum Ausdruck: je geringer die Knickfestigkeit einer Lage, desto kleiner ihre Falten. In diesem Falle treten Extreme, harte Quarzlagen und weiche Phyllit nebeneinander und bedingen das hier beschriebene Bild. Bereits anderen Orts wurden die Folgen noch weiterer Faltung und der Schiebungen in dem nun umgestellten *s* beschrieben: auch die Scharniere der Quarzgänge zerreißen und lentikuläre Quarzmassen schwimmen in dem umgestellten *s*. Dieses für Gebiete mit Differentialüberschiebungen (Tauern, Innsbrucker Quarzphyllit etc.) vorherrschende und charakteristische lentikuläre Stadium finden wir im Brixener Quarzphyllit ebenfalls, aber zurücktretend. So daß wir nach dem Verhalten der häufigen lediglich geschlingelten Quarzlagen geradezu eine geringe Verbreitung von Differentialüberschiebungen für den Brixener Quarzphyllit annehmen können. Einfache Zusammenschiebung mit Umstellung von *s* und entsprechend einem Drucke ungefähr in der Richtung des noch nicht umgestellten *s* ist sehr häufig.

In welchem Zustande des Gesteins ist nun diese Umfaltung (Quarz) und korrelate Umfältelung (Phyllit) dieser Gesteine erfolgt.

Diese Faltung ist jedenfalls unter Umständen erfolgt, unter welchen die Quarzlagen sich nicht fließend im strengen Sinn, sondern als Körper mit der Fähigkeit zur Leitung gerichteten Druckes umformten. Das lehrt das Vorhandensein der für solche Fragen sehr oft ausschlaggebenden Regel der Stauchfaltengröße mit Sicherheit.

Bei dieser Gelegenheit sei wiederum bemerkt, daß sich ganz dieselbe Überlegung auch für die Frage empfiehlt, ob manche geologischen Profile mit oder ohne Druckleitung zustande gekommen sind, wonach man manchen Schluß auf die Bedingungen (Deformationsgeschwindigkeit, kristalline Mobilisation etc.), unter welchen sie die betreffende Tektonik erhielten, wagen kann.

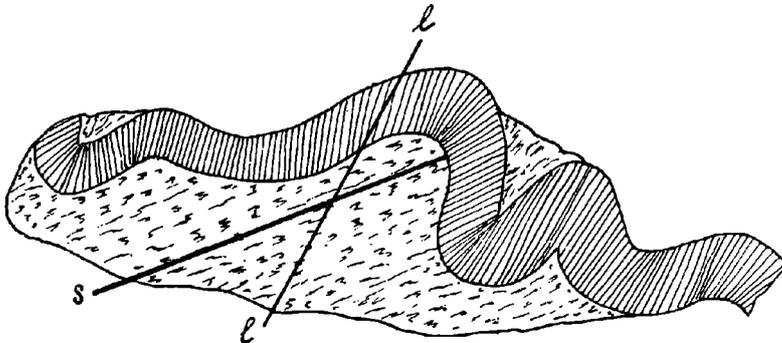
Zunächst wurde ein „Gang“ von 1 cm Mächtigkeit untersucht. Im Querschnitt der Falten findet man als Beleg dafür, daß die Faltung bei festem Quarzgefüge erfolgte, deutliche Zertrümmerung des Quarzes zu feinkörnigem Gefüge an den, den Biegetrajektorien entsprechend, meistgepreßten Innenseiten der Scharniere. Sonst zeigen die Umriss der verzahnten und undulösen Quarzkörner weder im Querschnitt noch im Längsschnitt der Falte Regelmäßigkeiten.

Dagegen zeigen die Quarzkörner eine ausgesprochene Regelung ihrer Achsen.

In dem hier beigegebenen Querschnittsbild Fig. 1 bezeichnen die Schraffen im Quarz gange die Lage von  $\gamma'$ . Der Quarz gang liegt im Albitphyllit, welcher umgefältelt ist, so daß sein  $s$  jetzt die in der Zeichnung mit  $s$  bezeichnete Lage einnimmt.

In einem Längsschnitt ( $l$  in Fig. 1), welcher parallel zur Faltenachse normal auf den faltenden Druck, leider etwas seitlich vom Scheitel des Scharnieres, also nicht als genauer Radialschnitt durchging, findet man die Quarzgefügeregel in ihrer gewöhnlichen Form ausgezeichnet vor. Fast alle Körner dieses Schnittes sind so geregelt, daß die Hauptachsen ungefähr normal auf den Wänden des Quarz-„ganges“ stehen. Die  $c$ -Achsen bilden sozusagen einen Rasen mit ungefähr parallelen Halmen (= Schraffen in Fig. 1), ohne daß gedachten Halmen etwa eine oblonge Form der Körner entspräche.

Fig. 1.



Um sich nun die Regelung der Achsen im Faltenquerschnitt vorzustellen, denke man sich, daß unser Achsenrasen zunächst auf einem ebenen Boden wachse, welcher sodann in Falten gelegt wird. Die Halme stehen nun nicht mehr parallel untereinander, aber noch immer senkrecht auf dem nun gewellten und gefalteten Boden.

Diese Anordnung der Achsen zeigt zweierlei.

Sie läßt sich, wenige Stellen ausgenommen, nicht als eine Einstellung der Quarzachsen auf den faltenden Druck auffassen.

Vielmehr erscheint sie als eine schon vor der Faltung vorhandene Anordnung anlässlich der Faltung in die Faltenbögen nur so miteinbezogen, wie die Halme in unserem Beispiel vom Rasen oder wie Tuschmarken, mit welchen wir eine Lage vor der Faltung senkrecht schraffiert hätten, nach der Faltung in den Scharnieren radial angeordnet erschiene. Im Falle einer Anpassung der Quarzachsen an die mit Faltung häufig zugleich auftretende Streckung parallel den Faltenachsen beobachtet man, wie ich anderen Orts beschrieb, daß

Schnitte parallel zur Faltungsachse auffällig viel Querschnitte, aber wenig oder keine isotropen Schnitte aufweisen, weil sich die Quarzachsen mehr und mehr frei bewegen können, aber ohne aus der Querschnittsebene zu gehen. Auch diese Anpassung ist in unserem Falle nicht nachzuweisen.

Die Betrachtung der Quarzlagen hat also ergeben, daß die Faltung jünger ist als die Achsenregel der Quarzkörner und jünger als die Kristallisation des grobkörnigen Quarzgefüges, welches an den Innenseiten der Scharniere zertrümmert wurde.

Wo der Glimmer (Muskovit und Chlorit) mit dem Quarz der Quarzlage in Berührung tritt, zeigt er sogleich bessere kristallographische Ausbildung in Gestalt größerer, meist vollkommen unversehrter Schuppen. Dies tritt besonders in den Kniekehlen der Scharniere hervor. An den Stellen, welche durch die Faltung aus dem umgebenden Gewebe gleichsam abgezwickt wurden, entstanden Nester richtungsloser unversehrter Glimmer, deren Kristallisation nach der Faltung auch daraus sehr gut ersichtlich ist, daß sie Sprünge füllen, welche im Quarzit korrelat zur Faltung entstanden. Es hat also nach der Faltung Kristallisation von Muskovit und Chlorit noch stattgefunden.

Die wie oben erläutert korrelat zur Faltung der Quarzgänge erfolgte Umfältelung des Tonschiefergefüges, an welche sich häufig Bewegung im umgestellten *s* anschließt, zeigt folgende Beziehungen zur Kristallisation. Das Folgende kann zugleich als Beispiel dienen für die Beziehungen einer Clivage in Tonglimmerschiefer zur Metamorphose, welche natürlich nicht immer dieselben sind wie im vorliegenden Gestein, sich aber häufig genug bei mikroskopischer Untersuchung als gut vergleichbare erweisen dürften.

Das älteste, was uns vom Gesteinsgefüge erhalten ist, ist eine Feinschichtung, welche die Albite durchzieht. Dieses im Albit durch Opazit gezeichnete *si* ist zuweilen selbst gänzlich ungestört; an anderen Stellen im Gestein zeigt es bereits beginnende Fältelung. Die Bildung der großen Hauptgeneration von Albit ist in diesen Schliften demnach in einem Stadium erfolgt, als das Gefüge noch wenig oder gar nicht durchbewegt und wenig kristallin war und man trifft in diesen Schliften nur als Seltenheit Albite, welche als jüngere Holoblasten *si* bereits gefältelt und kristallin, so wie es heute vorliegt, umschlossen.

An anderen Stellen des Gesteins aber erfolgte die Albitisation ganz allgemein später, ohne daß man ohne eingehendere Untersuchungen sagen könnte, wovon das abhängt. Die im übrigen ganz gleich ausgebildeten Albite zeigen *si* gefaltet und bisweilen sogar unverlegt und es besteht aus tropfenförmigen, sehr oblongen Quarzen, wie ich solche aus der Schieferhülle der Tauern beschrieb.

Überhaupt ist auch bei dieser Gelegenheit zu bemerken, daß die Albitphyllite des Brixner Quarzphyllits auf das vollkommenste mit dem Quarzphyllit der Hochfeilerhülle übereinstimmen, wie man nunmehr sieht, auch in der Art ihrer Metamorphose.

Zusammenfassend kann man sagen, daß die Fältelung im Gestein bald vor, bald nach der Albitisation begann; für bestimmte Stellen im Gestein aber, was die weitaus größere Mehrzahl der Albite anlangt, entweder nur vor oder nur nach. Fast immer dauert die Fältelung sogar in ihrem wesentlichsten Abschnitt, der vollständigen Umstellung von *s*, nach Bildung der Albite fort (verlegtes *si* der Albite). Dennoch kommen sehr spät gebildete Albite vor, so daß, das ganze Gestein betrachtet, die Fältelung schon vor der Albitisation stattfinden kann, aber die Albitisation häufig wesentlich überdauert. Jedenfalls stehen sich beide Vorgänge zeitlich nahe und fallen vielfach in eine Periode. Eine Anpassung der Albite an die Schieferung ist manchmal zu bemerken, aber nicht sicher zu deuten.

Anschließend an die Albite sind große Chlorite in Gestalt der „Querbiotite“ zu erwähnen, welche die fertigen Albite als Einschlüsse umwachsen haben, also jünger sind als diese. Ferner Granaten mit ungefälteltem, zuweilen auch unverlegtem *si*.

Die Muskovite in der Kleinfältelung sind, besonders wo das Gefüge Quarz enthält, oft sehr deutlich jünger als die Fältelung, was mit dem in den Faltenknien der Quarzgänge Beobachteten übereinstimmt. Teilweise aber wurden die Glimmer von der Fältelung bereits vorgefunden und deformiert. Besonders ist dies der Fall, wo im Anschluß an die Umfaltung Bewegung im umgestellten *s* eintritt (Glimmergeflechte).

Wenn man nun bedenkt, daß die Kristallisation von Muskovit und Albit eine gewisse Zeit braucht, so erscheint hier wie in manchen anderen Fällen eine gleichsinnige Deformation (die Umfaltung) als ein langdauernder Prozeß, welcher nicht kontinuierlich fortläuft, sondern sich in Phasen zerlegen läßt, zwischen welchen das Gestein Zeit hat zur Kristallisation.

## 2. Quarzphyllit, Flaggertal bei Franzensfeste.

In einem Quarzphyllit (Granaten mit verlegtem *si*) wurde ein etwa fingerbreiter Quarzgang bis zum Parallelismus der Schenkel gebogen. Der Gang selbst zeigt keinerlei Gefügeregel, nur im inneren Scharnier etwas kleinere Körner. Im Phyllit läßt sich an dieser Stelle Kristallisation nach der Faltung annehmen. Die stark oblongen Quarze des zwischen den Faltschenkeln wie in einem Schraubstock gepreßten Phyllits sind nicht durch diese Pressung erzeugt worden, sondern finden sich schon als *si* in einem Granat im innersten Scharnier, und zwar unter rechtem Winkel zur Phyllitschieferung angeordnet.

## 3. Quarzitischer Quarzphyllit, Vahrn bei Brixen.

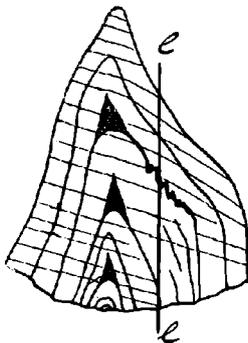
a) Eine feingefältelte Varietät (Muskovit, Quarz, Feldspat) zeigt ausgezeichnete Feinschichtung durch Quarzkörnerlagen verschiedener Korngröße. Diese sind ohne ersichtliche Zerbrechungen gefaltet. Die Faltung ist älter als die Muskovite, welche die Scharniere in Form unversehrter Glimmergebälke umziehen.

b) Eine in größere Falten gelegte biotitreiche Varietät bietet ein gutes Beispiel für eine von der Kristallisation überdauerte De-

formation mit Kristallisationsbewegung. Die Quarzlagen in der Falte zeigen Scharniere, welche außen rund, innen spitz sind. Im Querschnitt sieht man jede nach außen folgende Quarzlagenfalte auf der inneren sitzen wie einen Reiter im Sattel, aber einen Reiter, der den Sattel nicht berührt, sondern sich in den Bügeln hebt, so daß zwischen ihm und dem Pferde ein Raum bleibt, begrenzt vom Sattel und von den Schenkeln des Reiters, ungefähr ein spitzwinkeliges gleichschenkeliges Dreieck (schwarz in Fig. 2). Im Gesteine nun ist dieser Raum gefüllt, besonders durch den Glimmer (Muskovit und Biotit), welcher die Quarzlagen trennt.

Solche Räume entstanden bei der Faltung, indem jede Falte infolge der seitlichen Pressung mit ihren Schenkeln von der, auf welcher sie saß, abglitt, sich also unter Schiebung in  $s$  abstaute. Hierbei kann eine gewisse grobmechanische Hineinschürfung von Glimmer

Fig. 2.



in den (wahrscheinlich niemals offenen) Raum erfolgt sein, sicher aber auch Kristallisationsbewegung von Quarz und Glimmer, welche diesen Raum in statu nascendi zur Kristallisation benützten.

Da sich das erst bei der Faltung neugebildete Gefüge in dem besprochenen Raum durch nichts vom übrigen Gefüge unterscheidet, so ist es zum mindesten nicht auszuschließen, daß Kristallisationsbewegung auch bei der Deformation der Quarzlagen selbst eine Rolle gespielt habe.

Wenn es sich darum handelt, die Richtung von  $\gamma'$  und  $\alpha'$  in größeren Präparaten zu bestimmen, so kann man diese Richtung  $\gamma'$  am besten während das Präparat u. d. M. liegt mit einer feinen Tuschfeder auf das Deckglas zeichnen an den Stellen, wo eben Gefügeregelung sichtbar ist, wie das in Fig. 1 und 2 durch Schraffen ausgeführt wurde.

Ist die Regelung nicht vollkommen, sondern umfaßt nur die Mehrzahl der Körner, so empfiehlt es sich, durch Heben des Tubus unscharfe Einstellung zu erzeugen, bei welcher das Quarzmosaik mit seinen blauen und gelben Körnern bei Drehung die Mischfarben sozusagen von der gelbsten Stellung bis zu der blauen zeigt,

welch letztere aufzusuchen leichter fällt als angesichts des scharfeingestellten Mosaiks, in welchem man den Wald vor Bäumen nicht sieht.

Außerdem ergibt die unscharfe Einstellung noch andere Vorteile für das Studium der Gefügekunde. Sie ist für die Wahrnehmung mancher Züge im Gefügebild ebenso zu empfehlen wie die Betrachtung eines pointillistisch gemalten Bildes aus der Entfernung mit unscharfer Einstellung unseres Auges auf die einzelnen Farbflecke des Pinsels. So sehen wir z. B. die einzelnen Quarzkörner im Gipsrot, welche wir gewohnt sind bei scharfer Einstellung allein als Individuen zu betrachten, bei unscharfer Einstellung nicht mehr, dafür aber Gruppen subparallel orientierter Körner, welche sozusagen ein Individuum höherer Ordnung im Gefüge bilden. Gerade in Quarzgefügen läßt es sich sehr oft zeigen, daß diese Individuen höherer Ordnung manchmal rundlich, andere Male auf charakteristische Art durcheinandergreifend vorkommen, so daß man verschiedene Gefüge höherer Ordnung in diesem Sinne festzustellen und zu erklären hat. So bildet, um ein Extrem als Beispiel zu nennen, ein durch und durch ideal geregelter Quarzit ein einziges Individuum in diesem Sinne. Meist aber lassen sich innerhalb desselben doch Individuen höherer Ordnung unterscheiden und der Quarzit ist nicht vollkommen homogen geregelt.

Wenn man nun in einem Schlißpräparat die vorherrschende Richtung von  $\gamma'$  festgestellt hat, so weiß man, daß die Hauptachsen der geregelten Quarze in einer Ebene liegen, welche in der Richtung von  $\gamma'$  senkrecht auf den Schliß errichtet ist. Um aber zu finden, welches die Hauptrichtung der geregelten  $c$ -Achsen ist, braucht man noch einen Schliß. Dieser wurde im vorliegenden Falle senkrecht auf den ersten angelegt; die Falte war quer und längs geschnitten worden.

Auch in diesem zweiten Schnitt wird die Richtung von  $\gamma'$  bestimmt und zugleich damit, wie oben gesagt, die Ebene, in welcher die Hauptachsen der Quarze liegen müssen. Man kennt nun zwei Ebenen, von deren jeder man weiß, daß die  $c$ -Achsen in ihr liegen müssen. Sind diese Ebenen nichtparallel, wie im vorliegenden Falle, so ist ihre Schnittlinie die vorwaltende Richtung, in welcher die Hauptachsen der Quarze subparallel zueinander gerichtet sind. Diese Methode ist für jedes Gefüge anwendbar, dessen Körner man optisch orientieren und von welchem man Querschnitte herstellen kann.

Im vorliegenden Fall ergab diese Methode, zu deren besserer Durchführung allerdings noch einige große Schliße nötig gewesen wären, daß ein ganz anderer Fall von Quarzgefüge vorliegt als in den unter 1 beschriebenen Quarzfalten. In beiden Fällen ist die Regelung der Quarze ohne Beziehung zu Biegetrajektorien in der Falte. Im Falle 1 war aber die Regelung älter als die Faltung und die Quarzachsen lagen dementsprechend, wie beschrieben, radial in den Faltenbögen. Im vorliegenden Falle ist die Regelung der Quarze jünger als die Faltung und durchsetzt alle Scharniere ohne jede Beeinflussung durch dieselben, als wären sie gar nicht vorhanden. Das Gestein ist so geregelt, als wäre es ein ungefalteter Quarzit, welchen ungefähr derselbe Druck regelte, der in diesem Falle zuerst zur Faltung geführt hat.

Wie in allen Fällen von Gefügeregelungen, so hätte man auch in diesem Falle zwei Umstände zu berücksichtigen: Entsprechend der Regelung erhält erstens das ganze Gestein mehr oder weniger dieselbe Orientierung in seinen Eigenschaften, welche das einzelne Mineral zum Kristall macht. So sind in diesem Falle elektrisches und thermisches Ellipsoid im geregelten Quarzit so angeordnet wie im Quarz z. B. der längere Durchmesser des thermischen Ellipsoides  $\perp s$  und // zum regelnden Druck. Der Elastizitätsmodulus  $E$  wird  $\perp s$  größer sein als in  $s$ , bzw. // zum regelnden Druck größer als  $\perp$  dazu. Dasselbe ließe sich von der Zugfestigkeit sagen, falls die Festigkeit des bindenden Zements größer wäre als die der Körner, was aber nicht bekannt ist. Leider fand ich auch keine Angaben über die Druckfestigkeit von Quarz  $\perp c$  vor; //  $c$  ist sie durch Rinne bekannt gemacht. Anderenfalls ließe sich der zweiten an alle geregelten Gefüge zu stellenden Frage nähertreten, ob das Gefüge aktives oder passives Verhalten während seiner Regelung zum Ausdruck bringt, wonach ich aktive und passive Gefüge unterscheiden möchte. Ist z. B. ein Gefüge so geregelt, daß es sich auf gerichteten Druck beziehen läßt, so gibt es zwei Möglichkeiten. Entweder seine Körner liegen alle so, daß ihre größte Druckfestigkeit oder ihr maximaler Kristallisationsdruck // jenem gerichteten Druck liegt, welcher sozusagen den maximalen Widerstand des Gesteins als Reaktion wachgerufen hat, so z. B. wenn sich wachsende Kristalle so regeln, daß das Gestein eine gewisse Belastung durch Wachstumsdruck aktiv überwindet. Oder die Regelung bedeutet eine Anpassung des Gesteins an den Druck im Sinne sich verringernden Widerstandes im Sinne passiven Nachgebens und Ermöglichung der fortlaufenden Deformation mit kleinster Arbeit.

Die für die Geologie in mannigfaltiger Beziehung fruchtbare Aufgabe, die geregelten Gesteine von den zwei genannten Standpunkten aus zu besprechen, stößt derzeit leider noch allzuoft auf den von Rinne hervorgehobenen Mangel an Feststellungen von Druckfestigkeiten der Minerale. Doch besteht bekanntlich Aussicht, daß dieser Mangel durch das Interesse verschwinden wird, welches die Baumaterialienkunde an solchen Bestimmungen bekommt.

Bemerkenswert ist noch, daß in diesem Falle einer Regelung der Quarzachsen Normalspannungen entscheidend waren. Man ersieht das daraus, daß keinerlei Schiebungen die Falten durchziehen, welche doch älter als die Quarzgefügeregel sind.

Es erfolgte also im vorliegenden Falle eine Faltung mit Bewegung in  $s$  und Kristallisationsbewegung zum mindesten bei der Füllung der „dreieckigen Räume“ (s. o.). Die Kristallisation von Glimmer und Quarz überdauerte diese Faltung. Ohne Abhängigkeit von den Faltenformen fand sodann Quarzgefügeregelung statt.

4. Kontaktmetamorpher Quarzphyllit nächst Norit, Astjoch, Pustertal.

Der Quarzphyllit zeigt nächst dem Kontakt besonders starke Faltung und felsitisches Aussehen. Das unregelmäßige Quarzgefüge ist unversehrtes typisches Kontaktmosaik. Der Muskovit hat jede für Phyllite charakteristische Form verloren und bildet feinstkrümelige

Lagen mit Aggregatpolarisation aus zahllosen winzigen regellosen Schüppchen. Diese Lagen dienten als Zufuhrweg für reichlichen Turmalin, welcher sich darin (ohne *si*) ansiedelte, häufig in Gestalt kleiner „Sonnen“.

Vollkommen von der Kontaktmetamorphose überholte Faltung. Die Kristallisation bedeutete hier das Ende der Beweglichkeit, welche zuerst nach den Befunden im Felde in der Nähe des Intrusivs gesteigert war. Abgesehen vom mikroskopischen Bilde genügt hier der Befund im Feld (felsitartig dichtes Gestein aus Phyllit), um zu begreifen, daß dieses Gestein nach anfänglich gesteigerter Beweglichkeit (heftige Faltung) schließlich (in höher kristallinem Zustande) erstarrte.

5. Quarzphyllit (mit Albit), südlich vom Dreihornspitz, Senges bei Mauls.

Faltung wesentlich nachkristallin. Im Quarzglimmergefüge aber auch etwas Abbildungskristallisation.

6. Biotitphyllit (mit Chlorit), nördlich vom Satteljoch, Senges bei Mauls.

Faltung wesentlich nachkristallin. Bildung von großen Chloriten nach der Faltung und Bewegung in *s*.

7. Quarzphyllit, Grat der Weißspitze gegen Gossensaß.

Das Gestein erlitt vollkommene Umfaltung und sodann Linsensbau durch starke Bewegung im umgestellten *s*. Letztere verlief nachkristallin und fluidale Glimmergeflechte bezeichnen ihren Weg. Zwischen diesen aber sieht man Lagen, in welchen die Umfältelung von der Kristallisation überdauert und ausgezeichnet abgebildet ist. So kommt es, daß in solchen Lagen, zwischen welchen die nachkristalline Bewegung in *s* vor sich ging, zahlreiche ganz unversehrte Glimmer quer zum jetzigen *s* auffallen. Es sind das die Glimmer, welche die erste Umfältelung kristallin abbilden. Also Umfaltung wesentlich von der Kristallisation abgebildet. Sodann aber noch mit Verschonung vieler Lagen nachkristalline Bewegung in *s*.

8. Albitphyllit mit Graphit, Nopfspitze, Wildlahnertal.

Dieses Gestein zeigt äußerst feinkörnige, in sich selbst wieder feingeschichtete Quarzlagen, welche, wie bei dem unter 1 beschriebenen Gestein, korrelat zur Umfältelung des Tonschiefers in größere Falten gelegt sind, ohne irgend etwas Bemerkenswertes zu zeigen.

Die Feinschichtung durchzieht als *si* (Opazit, Quarz) die zahlreichen, meist isometrischen Albite. Deren Bildung fand vor der Fältelung statt: gefaltetes *si* ist eine Seltenheit.

Sodann erfolgte die intensive Umfältelung mit anschließender Bewegung im umgestellten *s*. Hierbei wurde *si* verlegt und steht jetzt meist senkrecht auf dem umgestellten *s*. Die Albite selbst treten in Lagen parallel der Feinschichtung dicht gehäuft auf, was wahrscheinlich die Abbildung einer durch Feinschichtung bedingten Inhomogenität bedeutet. In zwei Fällen wurde eine solche Lage gleich den Quarzlagen in größere Stauchfalten gelegt.

Nach der Faltung fand noch etwas Kristallisation statt: Glimmer und *si*-freie Säume an Albiten.

Faltung also im wesentlichen nachkristallin, aber von der Metamorphose (Albitisation!) doch etwas überdauert.

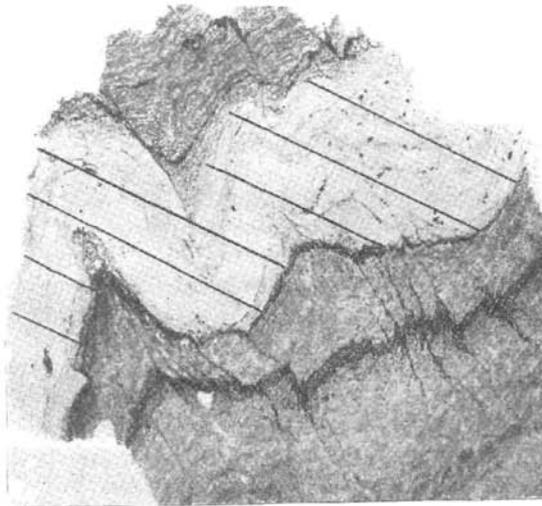
9. Kalkphyllit, Hoher Nopf, Wildlahnertal, Schmirntal, Brenner.

Nachkristalline Faltung, nachweisbar in bezug auf Glimmer und Kalzit.

10. Quarzit, Schöberspitze, Wildlahnertal, Schmirntal, Brenner.

Nachkristalline Faltung, bezüglich Quarz und Glimmer, mit Abbildung von Biegetrajektorien. Beschreibung siehe in Tschermaks Mitteilungen 1911, pag. 288.

Fig. 3.



11. Quarzphyllit, Schöberspitze, Kaserer Tal, Schmirntal, Brenner.

Nachkristalline Faltung bezüglich Quarz und Glimmer. Beschreibung l. c.

12. Quarzphyllit, nördlich von den Kalken der Frauenwand bei Hintertux.

Faltung wesentlich nachkristallin bezüglich Glimmer. Selten und nur im quarzreichen Gefüge unversehrte Glimmerplättchen.

13. Quarzphyllit, nördlich vom Tuxjoch. Ebenso.

14. Quarzphyllit, Hennensteige, Lizum.

Vollständig nachkristalline Faltung bezüglich Glimmer (fluidale Geflechte) und Quarz (stärkste unverheilte Kataklyse, Regelung der Achsen: *c* parallel zum faltenden Druck).

15. Tarntaler Schiefer mit gefalteter quarzitischer Lage; Klammjoch, Tarntaler Kögel. (Fig. 3.)

Äußerst feinkörniges Gefüge. In der Quarzitlage geregelt, unabhängig von den Faltenformen, aber im Sinne des faltenden Druckes die Scharniere schneidend. Anscheinend wesentlich nachkristallin. Die Schraffen in Textfig. 3 geben die Lage der Ebene, in welcher  $\gamma'$  liegt.

16. Quarzphyllit des Nöblacher Joches, Brenner.

Wesentlich nachkristalline Faltung mit ausreichender Biegung großer Glimmer. Polygonale Glimmer in Scharnieren selten. („Steinacher Karbon“ der Steinacher Decke.)

17. Quarzphyllit, Steinturrach, Kärnten.

Nachkristalline Faltung bezüglich Muskovit (Geflechte) und Quarz (Kataklyse, Regelung). Nach der Faltung reichliche Bildung unversehrter Chlorite.

18. Quarzphyllit des Vikartales bei Innsbruck.

Schon früher wurde auf die durch Abbildungskristallisation weit überholte Faltung dieses Gesteins hingewiesen (Tschermaks Mitteilungen 1911, Taf. I, Fig. II). Da und dort hat diese Faltung aber auch die Glimmer sehr erheblich deformiert. Sie ist demnach parakristallin, wesentlich vorkristallin.

Bisweilen sind an Stellen mit Muskovitgeflecht nach dessen Bildung noch Querbiotite kristallisiert, welche vom Muskovitgeflecht reliktilsch durchzogen werden (unverlegtes *sz*).

19. Quarzphyllit, Rosenjoch-Penzenböden, Tuxeralpen, Tirol.

Wesentlich nachkristalline Faltung mit geringer Rekristallisation.

20. Quarzphyllit, Ahrntal bei Innsbruck.

Wesentlich nachkristalline Faltung.

21. Kalkphyllit, Sidanjoch, Tuxer Voralpen.

Parakristalline Faltung, von der Kristallisation (Kalzit, Muskovit, Chlorit) stark überholt.

### Übersicht.

Unter den Phylliten fallen die wesentlich nachkristallinen Faltungen auf, sowohl in den „tauernkristallinen“ Phylliten der oberen Schieferhülle (Pfunderer Gebirge, Steinacher Decke, Einfaltungen in die Tuxer Phyllite) als in den Tarntaler Phylliten und den Tuxer Voralpen, in welchen letzteren jedoch parakristalline Beispiele hinzutreten.

Für die Brixner Phyllite ist parakristalline Faltung charakteristisch.

Bemerkenswert ist der vorkristalline Charakter der Faltung im Kontaktphyllit des Norits vom Astjoch, welches auch für die Kontaktphyllite von Klausen in ihrer ganz den Verhältnissen am Astjoch entsprechenden „Feldstein“-Fazies gelten dürfte.

## V. Falten aus dem böhmischen und finnischen Kristallin.

1. „Bittescher Gneis“ F. E. Suess. Boratsch in Mähren. Umgefalteter Hornblendegneis zeigt vorkristalline Faltung. Die Kristallisation von Hornblende und Biotit in den Scharnieren, ebenso die Verwachsungen von Quarz und Feldspat erweisen sich als jünger als die Faltung. Die Zersetzungserscheinungen sind noch jünger und dementsprechend ganz ohne Zusammenhang mit dem Faltungsvorgang.

Auch in einem Biotitgneis mit feinsten Lagenstruktur erweist sich die Faltung als vorkristallin.

2. „Fugnitzer Schiefer“, Fugnitz in Mähren.

Vollkommen vorkristalline Faltung hinsichtlich sämtlicher Bestandteile (Muskovit, Biotit, Quarz, Feldspate).

3. Biotitgneis, Weißenkirchen im niederösterreichischen Waldviertel.

Die den Ptygmatiten Sederholms gleichende Faltung ist ganz und gar vorkristallin in bezug auf alle Minerale (Biotit, Quarz, Feldspate).

In einem Präparat ist Chloritisierung der Biotite ganz unabhängig vom Faltungsakt anzumerken. Von

4. Biotitgneis, Krems a. d. Donau, gilt dasselbe.

5. Biotitgneis von Brändö Harun, westlicher Schärenhof der finnischen Südküste.

Vorkristalline Faltungen. An den Scharnieren der ptygmatisch gefalteten sauren Gänge ist trotz des jetzt unversehrten Gefüges zu bemerken, daß rupturale Teilbewegung ehemals an den Stellen stärkster Pressung zu feinkörnigerem Gefüge führte.

### Übersicht.

Alle Beispiele waren vorkristallin gefaltet.

### Erläuterung der Bilder.

1. Falte aus ungebundenen, in feuchtem Zustande knetbaren Terrassensanden, Hötting bei Innsbruck. Weder Kornzerbrechung noch Kristallisation hat als Teilbewegung der Faltung eine Rolle gespielt, sondern nur die Verschiebung der Körner gegeneinander, wobei keinerlei Desorientierung derselben aus der sedimentären Feinschichtung erfolgte. Schwellen (Faltenstirnen!) und Schwinden (Schenkel!) der sedimentären Lagen, je nachdem sie parallel oder normal zum faltenden Drucke stehen.

2. Rhätizitphyllit mit Graphit, Saxalm, Venna, Brenner. Nachkristalline Faltung. Gebogene Rhätizite bei r. Siehe Text II, Nr. 14.

3. Grünschiefer mit Albit und Ankerit, Wald über Gasteig im Ridnauntal bei Sterzing. Nachkristalline Faltung. Siehe Text II, Nr. 7.

4. Amphibolit, Pfossental. Vorkristalline Faltung. Siehe Text II, Nr. 4.

5. Glimmerschiefer, Thaserbauer bei Meran. Vorkristalline Faltung. Siehe Text III, Nr. 6.

6. Glimmerschiefer der unteren Schieferhülle, Block, Kalch am Jaufen. Parakristalline Fältelung. Die Faltung ist überdauert von der Kristallisation, vgl. 1. und 2. Faltenbogen, eckig aus mechanisch unversehrten Glimmern; daneben, namentlich im folgenden 3. Faltenbogen rund gebogene Muskovite.

7. Glimmerschiefer, Pfossental - Hintergrund. Parakristalline Faltung. Siehe Text II, Nr. 3.

8. Glimmerschiefer, Kramerspitze, Hintergrund des Sengestales bei Mauls. Parakristalline Faltung. Siehe Text II, Nr. 12.

9. und 10. Albitphyllit, Saxalpenwand, Venna, Brenner. Imprägnation mit Albit in der Faltungsphase.

Die hellen Flächen sind große Albite mit unverlegter interner Reliktstruktur.

In 10 sieht man optisch unversehrten Albit nach dem Prinzip der Wegsamkeit von *s* fortwachsen und so den gefalteten Phyllit durchtränken, ohne Desorientierung seiner Falten. Als Endresultat eines solchen Vorganges sieht man in 9 (linke Hälfte des Bildes) vollständige relikte Faltenbögen in Albit (Verlauf durch zwei Tuschlinien angeben). Die rechte Hälfte beider Bilder zeigt, daß der Albit die vor der Fältelung umschlossenen Teile des Phyllits vor der Faltung bewahrte. Außerdem auf 9 zwischen den großen Albiten zerbrochener Albit als Zeichen des Andauerns der Bewegung nach der Kristallisation.

## Sachverzeichnis.

(Die nebenstehenden Ziffern geben die Seitenzahlen an.)

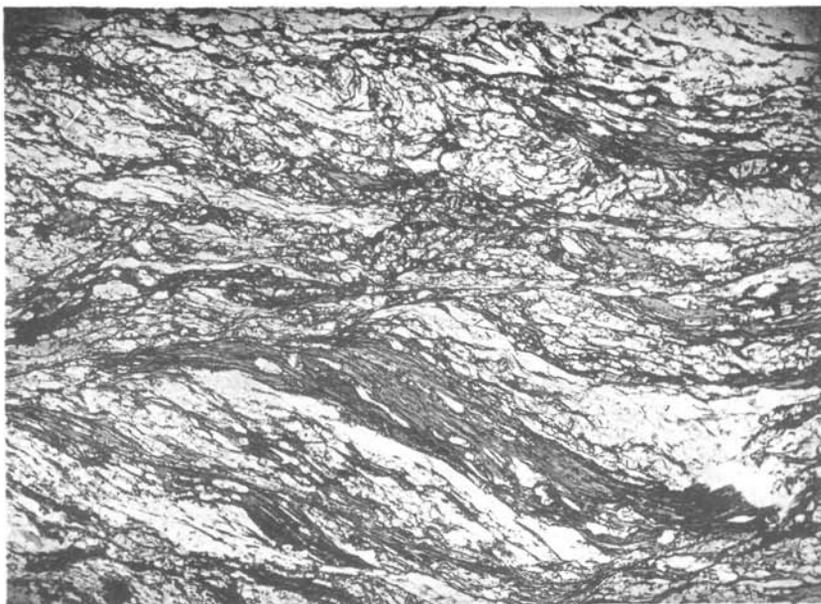
<p>Aktive und passive Gefüge 628. Anisotropie geregelter Quarzite 628. Diaphthorese und Faltung 614—19, 621. Einstellung, unscharfe 626—27. Empfindlichkeit der Gesteine für Gefügebewegung 598. Erholungspausen, Kristalline, eines durchbewegten Gesteins 604. Erstarrung, Kristalloblastische 600, 602, 613. Faltung 598, 604, 622—26. Fließen der Gesteine, „teilweises“ 601—3.</p>	<p>Gefüge höherer Ordnung 612, 627. Geschwindigkeitsregel der Teilbewegung 603. Kristallisationsbewegungen 600—2, 613. Kristallisationsschieferung 602, 612. Quarzgefügeregel 611. Quarzgefügeregelung vor, nach, während der Faltung 623, 627—28, 631. Stauchfaltengröße 609, 621—22. Stetigkeit der Deformationen 597, 602, 609. Wegsamkeit von <i>s</i> 633.</p>
---	---

## Inhalt.

---

	Seite
<b>Einleitung</b>	597 [31]
<b>I. Allgemeinere Bemerkungen</b>	600 [34]
<b>II. Faltung der unteren Schieferhülle .</b>	604 [38]
Übersicht	612 [46]
<b>III. Faltung im alpinen „Altkristallin“</b>	613 [47]
Übersicht	621 [55]
<b>IV. Faltung in phyllitischen Gesteinen</b>	621 [55]
Übersicht	631 [65]
<b>V. Falten aus dem böhmischen und finnischen Kristallin</b>	632 [66]
Erläuterung der Bilder	632 [66]
Sachverzeichnis	633 [67]

---



**Fig. 1 (42)**



**Fig. 2.**

Lichtdruck v. Max Jaffé, Wien.

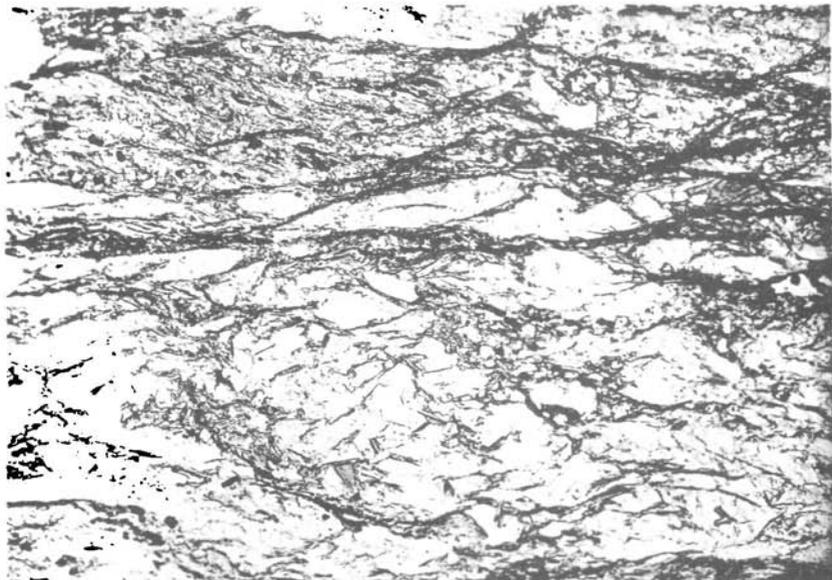


Fig. 3 (30)

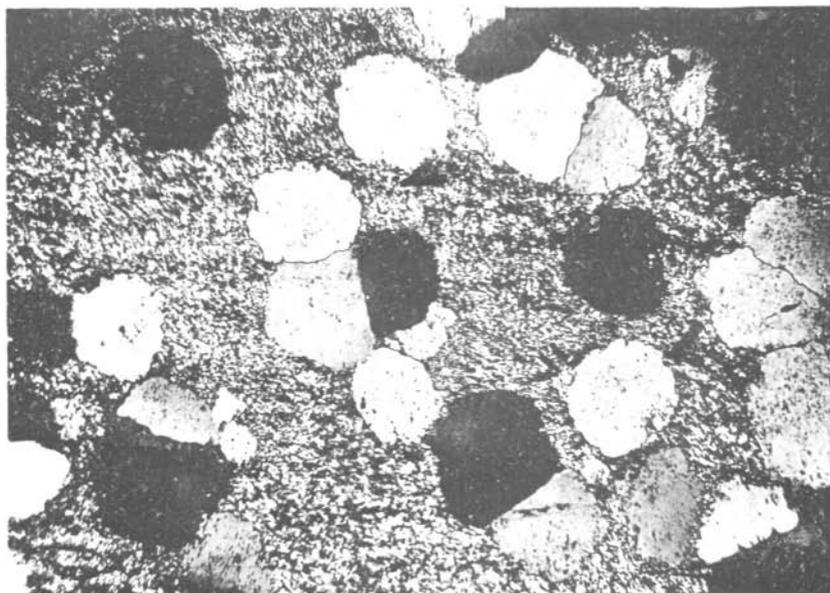


Fig. 4

Lichtdruck v. Max Jaffé, Wien.

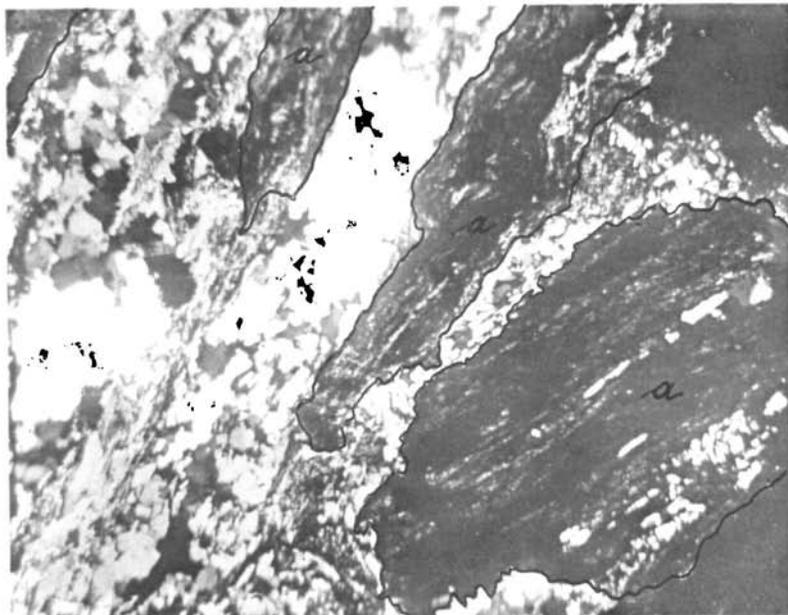


Fig. 5

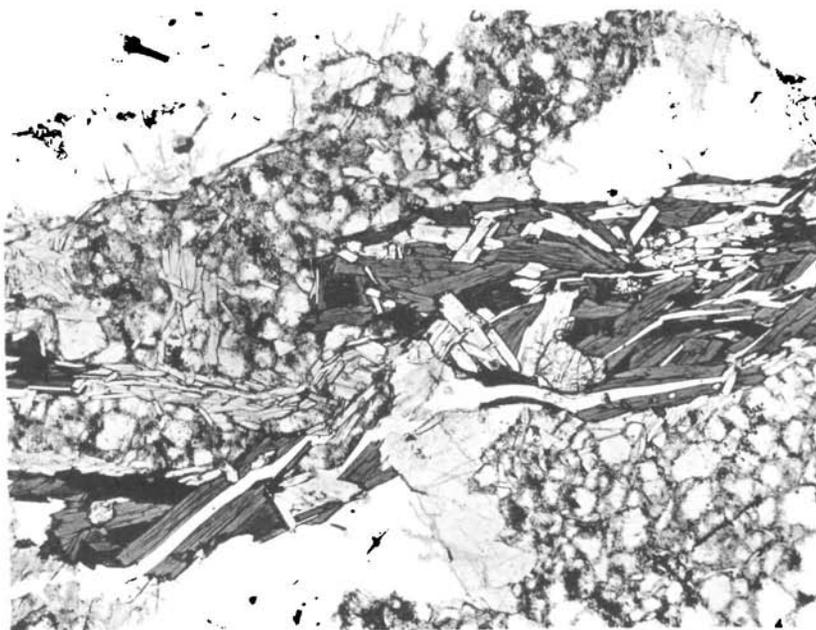


Fig. 6

Lichtdruck v. Max Jaffé, Wien

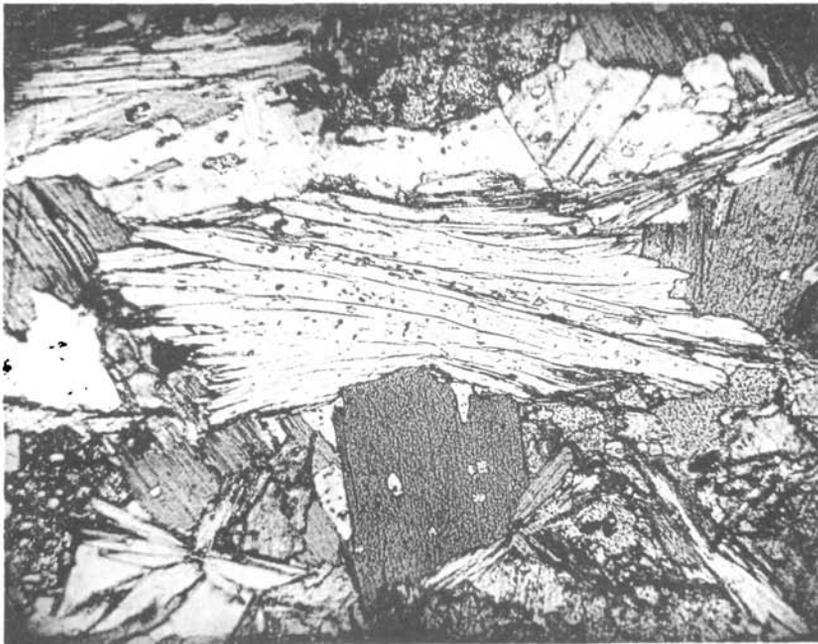


Fig. 7



Fig. 8 (37)

Lehrdruck v. Max Jaffé, Wien

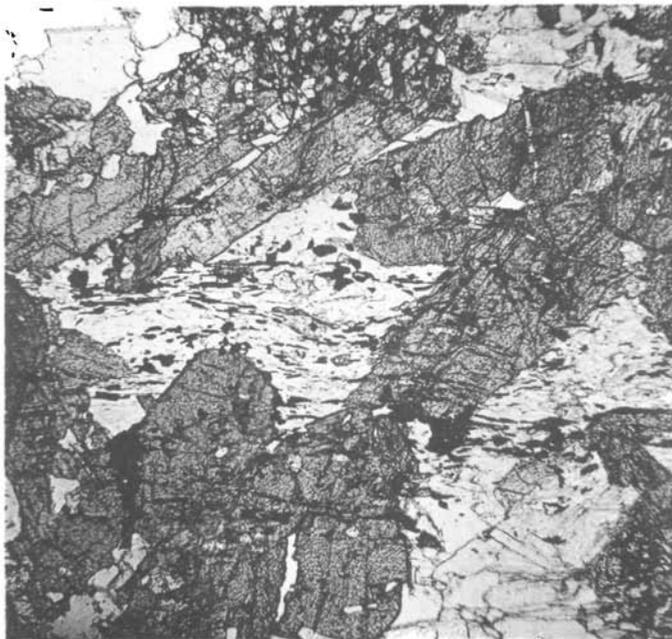


Fig. 9 (28)

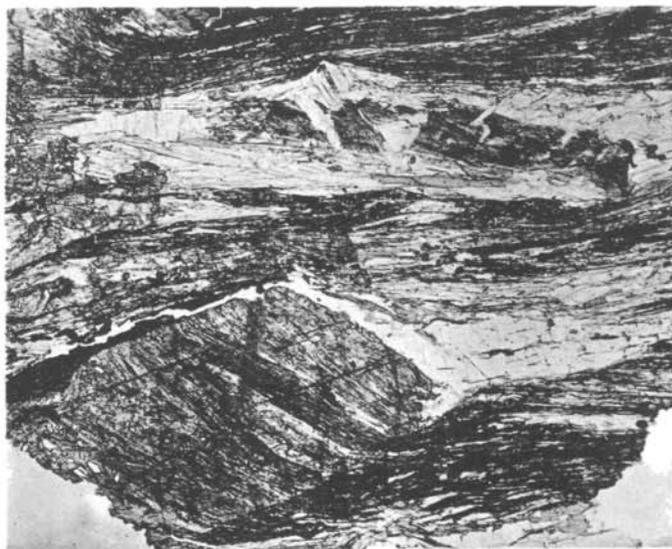


Fig. 10 (51)

Lichtdruck v. Max Jaffé, Wien.

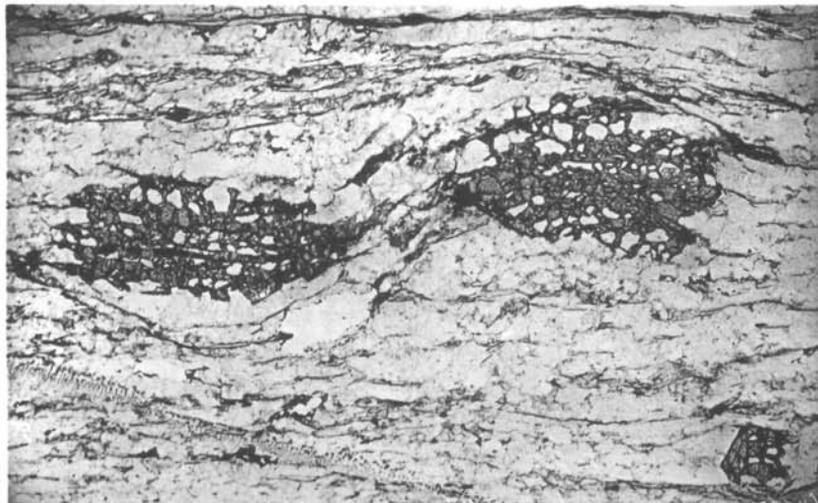


Fig. 11 (26)

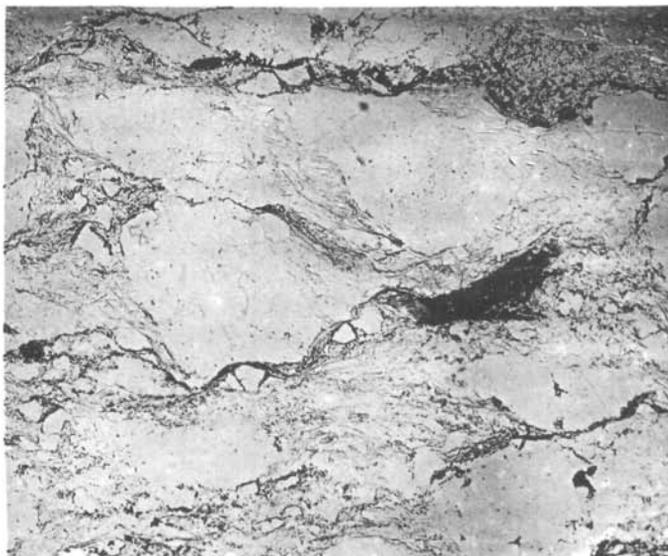


Fig. 12 (22)

Lichtdruck v. Max Juffé, Wien.

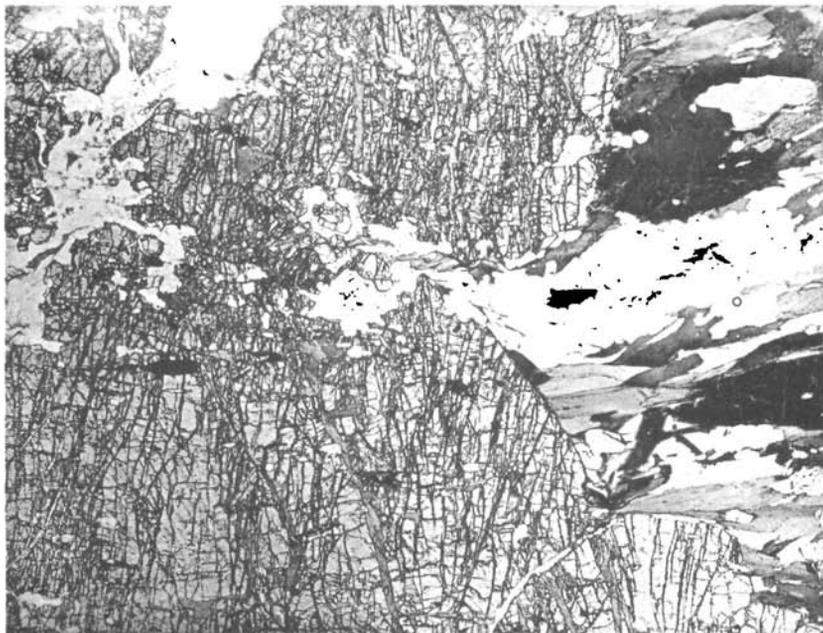


Fig. 13 (43)

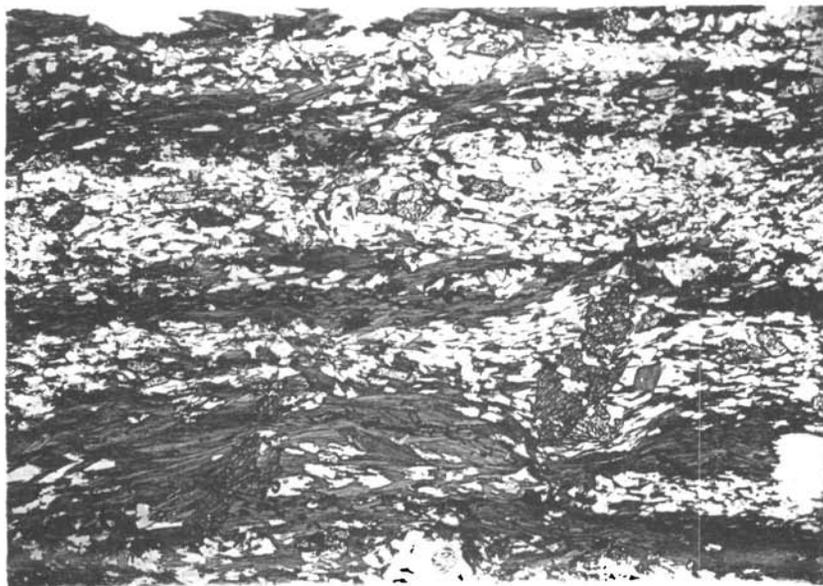


Fig. 14 (19)

Lichtdruck v. Max Jaffé, Wien

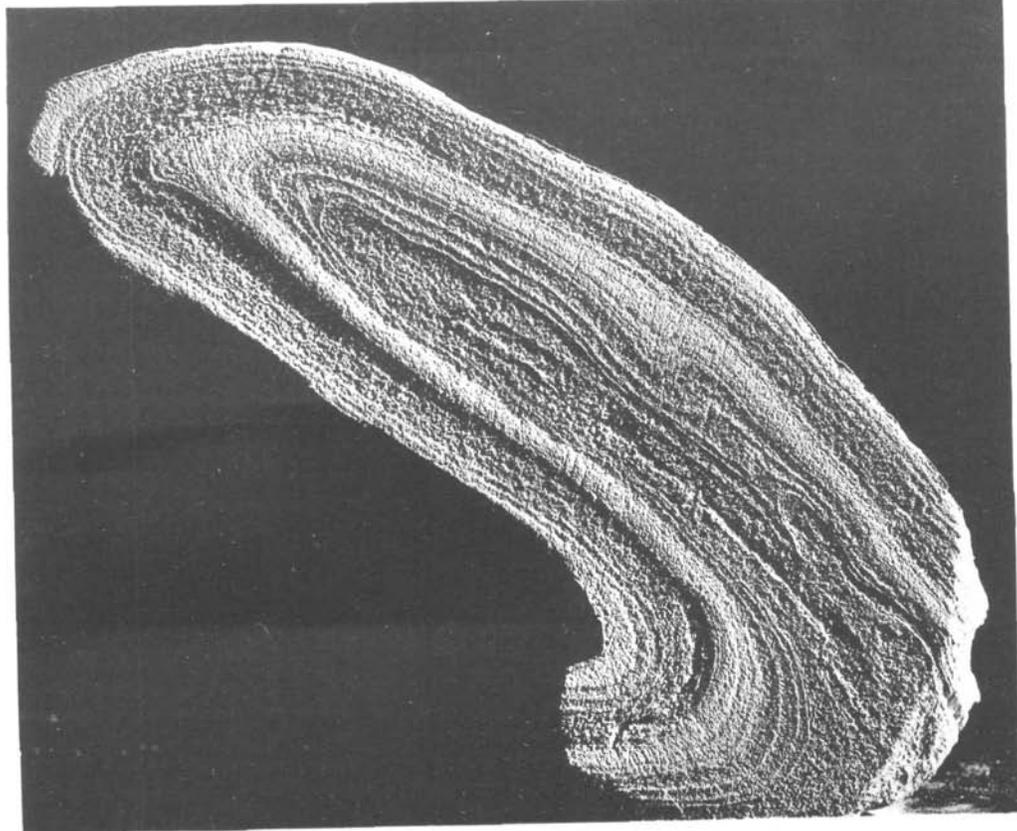


Fig. 1

Lichtdruck v. Max Jaffé, Wien

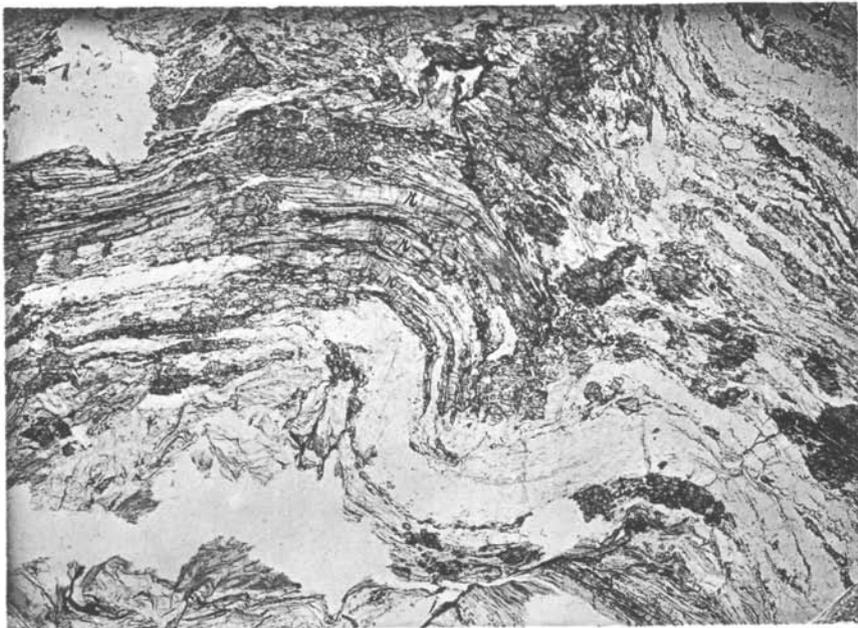


Fig. 2

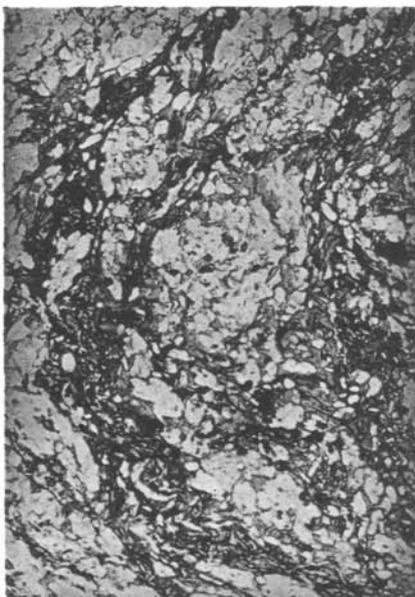


Fig. 3



Fig. 4 Lichtdruck v. Max Jaffé, Wien.



Fig 5

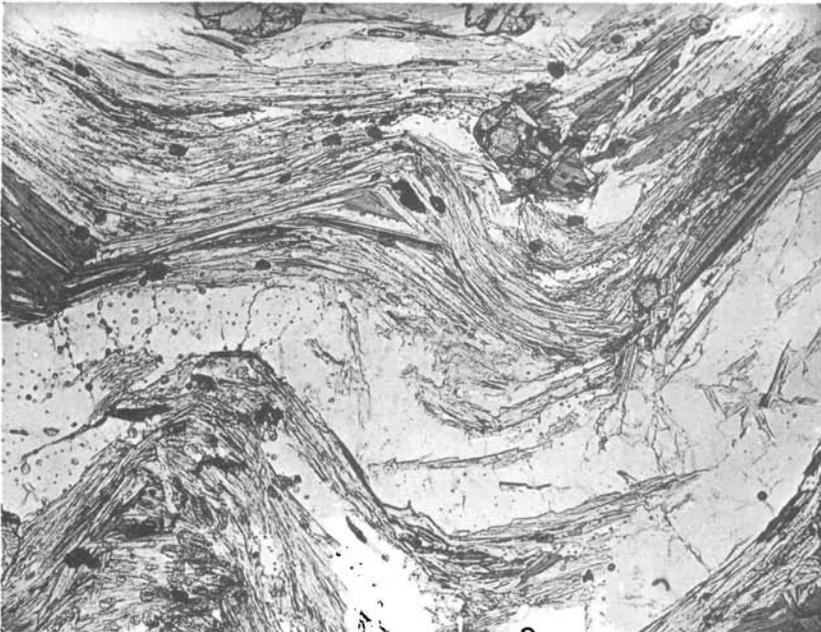
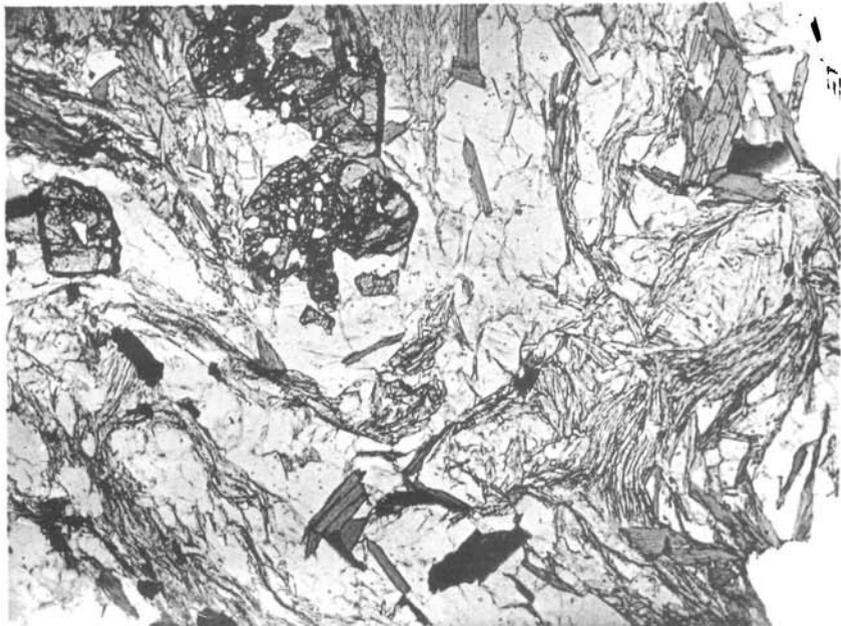
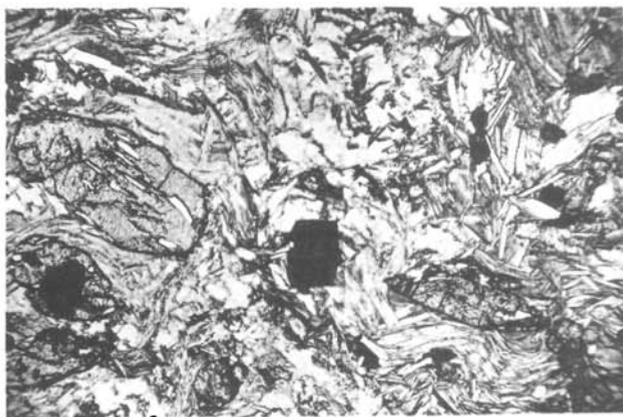


Fig 6

Lichtdruck v. Max Jaffé, Wien.



**Fig. 7**



**Fig. 8**

Lichtdruck v. Max Jaffé, Wien

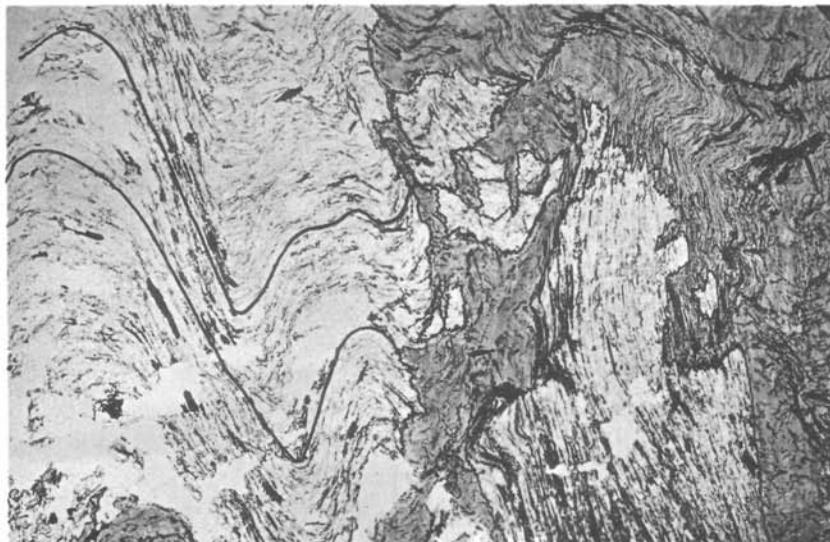


Fig. 9



Fig. 10

Lichtdruck v. Max Jaffé, Wien.