

# Zur petrographisch-tektonischen Analyse.

## III. Teil.

Von Bruno Sander, mit Beiträgen von Oskar Schmidegg, Innsbruck.

(Mit 39 Figuren.)

### Einleitung.

Seitdem ich in der zweiten Folge dieser petrographisch-tektonischen Studien angesichts des Mangels an Arbeitsbehelfen und der Unmöglichkeit, bei meiner Behörde die zeitgemäße Umsetzung unproduktiven Institutsinventars in produktives bis dahin durchzusetzen, mehr auf die Darstellung neuer Arbeitsprogramme als auf deren Durchführung angewiesen war, hat es sich wenigstens ermöglichen lassen, durch Einstellung der Universaldrehtisch-Apparatur in den Institutsbetrieb die Arbeitsrichtung dieser Studien faktisch lebendig zu erhalten. Ich habe es wie meine Schüler dem Verständnis von Kollegen für meine Lage, welches einen Betrag von seiten der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte meinem Institut zuwandte, und dem Entgegenkommen der Firma Leitz-Wetzlar zu danken, daß ich die in der zweiten Folge nur theoretisch betonten und von Schmidt mittlerweile (T. M. M., 1925) so erfolgreich praktizierten Vorteile der U-Tisch-Analyse hier für einige Fragen ausnutzen konnte.

Dem Interessenten kann mein „Rückblick auf die Entwicklung einiger Begriffe der neueren Gesteinskunde“ (Geolog. Arch., 1926, 1. Heft) zeigen, wie im Zusammenhange der dort erörterten Literatur das in dieser Arbeit unter anderem bestätigte Faktum durchgehender, zur tektonischen Deformation korrelater Gefügeregelung auch bei Karbonatgefügen, ganz entsprechend der von mir seinerzeit in ihrer regionalen Verbreitung in Quarztektoniten nachgewiesenen passiven Quarzgefügeregelung, durchaus zu erwarten war, wenn auch die Frage augenblicklich noch unentschieden ist, wie weit die Deformationsbedingungen, bzw. die Tiefenstufen bester Quarzregelung und bester Kalzitregelung zusammenfallen oder sich teilweise überdecken. Nachdem ich (1915, T. M. M.) von der Quarzgefügeregelung aus auf beobachtete echte Gefügeregelung an Amphibol, Gips und Feldspat hingewiesen hatte, hat Schmidt meines Wissens als erster (Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss., Wien 1917, S. 527) ein Beispiel eines geregelten Kalzitgefüges in Tessiner Kalkglimmerschiefer beschrieben und an seinem Beispiel festgestellt, daß  $\gamma$  ( $= \omega$ ) schief zu  $s$  lag.

Nachdem ich mich an meinen Beispielen aus der Schieferhülle der Tauern, aus den Laaser Schichten, aus dem Quarzphyllit und aus der

Tribulauntrias überzeugt hatte, daß die durchbewegten Marmore allenthalben mit derselben, wo nicht noch größerer Verläßlichkeit wie die Quarztektonite eine passive Gefügeregelung zeigten, wurde die räumliche Analyse dieser Regelung mit dem U-Tisch in Angriff genommen. Hiebei übernahm es mein Mitarbeiter, Herr Dr. Schmidegg, zu Vergleichszwecken die aktive (Wachstums-) Regelung des Kalzits in Gesteinen zu studieren, ein Schüler E. Felkel übernahm das eingehende Studium der passiven Regelung, ich selbst befaßte mich mit der letzteren, soweit ich es für meinen Zweck, Faltengefüge von kalzithaltigen Gesteinen zu analysieren, brauchte, worüber im folgenden bereits berichtet ist. Außer seinen Beiträgen hat Herr Dr. Schmidegg auch die Auszählung meiner Diagramme und den Entwurf des flächentreuen Gradnetzes sowie manche gelegentliche Mitarbeit dankenswert besorgt.

Ich habe schon bei mehreren früheren Gelegenheiten darauf hingewiesen, daß die Regelung das Gestein in bezug auf seine physikalischen Eigenschaften anisotrop macht. Sofern diese Eigenschaften irgend technisch interessieren, wie z. B. das Festigkeitsverhalten beim Abbau des Materials, bei dessen einwandfreier Prüfung und bei dessen einwandfreier, im eigentlichsten Sinne „richtiger“ Einfügung in ein Bauwerk, sind folgende Punkte für den technischen Erfolg entscheidend:

1. daß man mit der passiven Gefügeregelung als mit einer allgemeinen Eigenschaft unter gewissen Bedingungen deformierter kristalliner Körper auch den Gesteinsvorkommen der Natur gegenüber jederzeit rechnet. So auch in Fällen, in welchen nichts von einer Ordnung der Körner mit freiem Auge zu sehen ist;

2. daß man nicht nur wie die bisherige Baumaterialienprüfung der Gesteine an Gefügeanisotropien durch Kornumrisse, sondern durch die Lage des anisotropen Kornes denkt, an die Regelung des Gefüges, welche seit 15 Jahren für Petrographen erörtert, den Metallographen später geläufig geworden und der Baumaterialienkunde der Gesteine heute noch unbekannt ist, obwohl hier wie in der Metallographie die Festigkeitsprüfung eben auch erst durch Berücksichtigung der Gefügeanisotropie auf Grund einer räumlichen (U-Tisch-) Gefügeanalyse für das untersuchte Gestein eindeutig wird.

Es ist also, was z. B. die Marmore angeht, mit der vorliegenden Arbeit selbstverständlich auch für den Techniker gesagt, daß die meisten scheinbar richtungslosen Marmore festigkeitsanisotrop sind, daß es moderne Begutachtung von Marmorbrüchen ohne U-Tisch-Analyse nicht mehr gibt, daß sich der Abbau und die richtige Einfügung eines Werkstückes in den Bau von der U-Tisch-Analyse leiten lassen muß. Ich bemerke also auch in dieser zunächst für Geologen und Petrographen geschriebenen Arbeit, daß der U-Tisch schon heute auf Grund dieser Arbeit ein für den Marmorbegutachter, auf Grund des erreichten Standes unserer Einsicht in Gefügeregelungen aber überhaupt für jeden, der sich mit Baumaterialienkunde der Gesteine befaßt, ein unentbehrliches Instrumentar darstellt, bzw. künftig darstellen wird.

Kehren wir zum geologisch-petrographischen Fragenkreis zurück, so setzt diese Arbeit alle bisher erschienenen (siehe Geol. Arch., 1926, Heft 1) voraus, insbesondere auch die U-Tisch-Arbeit Schmidts an

Quarzgefügen, welche eine treffliche allgemeine Einleitung in den Vorgang bei solchen Untersuchungen enthält (T. M. M., 1925). Im Interesse übersichtlicher Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurde dem Vorgange Schmidts gefolgt, einiges aber, wie weiter unten erörtert, der Aufgabe angepaßt. Was die Wahl des Stoffes anlangt, so nahm ich durch besondere Beachtung der Kalzitgefüge auf eine gewisse Arbeitsteilung zwischen uns Bedacht, durch die Wahl homogen geregelter Falten auf Schmidts Betonung der „Gleitbrettfalte“, deren Kritik durch Gefügestudien ich in einem Referat (Verh. B. A.) vorgeschlagen und sogleich in Angriff genommen hatte. Die besonderen Vorteile, welche mich seinerzeit zur Gefügeuntersuchung von Gesteinsdeformationen übersichtlichen Ausmaßes geführt hatten, waren auch diesmal maßgebend dafür, daß ich Falten (Spitzfalten, Faltenstengel) wählte; diese Vorteile sind folgende:

Daß eine Deformation von deutlich sichtbarem Grade der „Stetigkeit“ mit Teilbewegung im Gefüge vorliegt, ist unleugbar.

Annahmen aus der Großtektonik sind nicht nötig. Man gewinnt also unabhängigen Boden für die Ergänzung und Prüfung von gefügekundlichen Ergebnissen, welche unter derartigen Annahmen gewonnen sind, womit ich keineswegs die Zuverlässigkeit solcher Annahmen überhaupt in Abrede stelle. Andererseits handelt es sich um Formen, um Typen tektonischer Deformation, welche im Schriff wie im tektonischen Profil auftreten. Und es gelten, worauf ich bei jeder Gelegenheit immer wieder eindringlich hinwies, alle für den Mechanismus der Entstehung, für die Deutbarkeit des Bewegungsbildes, für das Verhältnis von Kristallisation und Teilbewegung im Gefüge, für den Kräfteplan bei der Beanspruchung usw. maßgebenden Beobachtungen und Überlegungen ganz unabhängig von absoluten Ausmaßen, also um kein Haar weniger für die allgemeine Tektonik als etwa für die „Mikrotektonik“, sofern erstere eben in der Typisierung und Analyse ihrer häufigsten Großformen eine Aufgabe erblickt. Wer das verkennt, der verkennt damit den Sinn technologischer Tektonik überhaupt. Übrigens habe ich hiefür seit jeher als Aufnahmsgeologe im geologischen Profil und gleichzeitig als Petrograph im Schriffe Beispiele für solche gemeinsame Gesetzmäßigkeiten aller Gefüge beliebigen Ausmaßes ausführlich beschrieben, wenn ich hier etwa nur an die Beispiele der vom Tauernwestende beschriebenen Walzfalten und Stengelfalten, des Zusammenfallens von Faltenachse und Stengelachse, der Phyllonitisierung, der Umfaltung, der stetigen Tiefentektonite überhaupt erinnere. Und es ist die von Schmidt zuerst in unser Begriffsinventar eingeführte stetige faltenförmige Verbiegung von Vorzeichnungen durch Scherflächenscharen (die Gleitbrettfalte ist ein noch diskutabler Sonderfall eines allgemeineren, heute auch aus dem Gefüge bereits erwiesenen Prinzips) ebenfalls ein Beispiel für die Unabhängigkeit derartiger Untersuchungen von Ausmaßen und für ihre Tragweite für die Großtektonik.

Zu der genannten Unabhängigkeit, welche die Ergebnisse an übersichtlichen Kleinformen sehr oft zugleich zu sonst unerreichbaren Ergebnissen für die allgemeine Großtektonik macht, tritt ein weiterer Vorteil insofern als man die zu untersuchenden Kleinformen ja seinem tektonischen Profile entnimmt, wie ich das ebenfalls seit 15 Jahren in Arbeiten befürwortete, selbst ausübe und lehre, u. zw. so, daß man

seine Ergebnisse an der Kleinform einer Deformationsphase des Großprofils zuordnen kann, so daß ich z. B. keine Kleinfalte je beschrieben habe, ohne deren Rolle in dem betreffenden Bewegungsbilde des Großprofils zu kennen (Tektonik mit summierbarer Teilbewegung). Man gewinnt also durch die Untersuchung von Kleindeformationen, wenn man deren Summierbarkeit (z. B. Kleinfalten im Grundgebirge, Faltenstengel, Phyllonitfalten) zu einer bestimmten tektonischen Phase im Auge behält, auch direkte Einblicke in diese „korrelate“ tektonische Bewegung, worauf später auch Schmidt mit eindringlicher Betonung der Notwendigkeit, die Präparate auf das Profil beziehen zu können und also orientiert zu entnehmen, mehrfach hingewiesen hat.<sup>1)</sup>

Ein weiterer Vorteil der Untersuchung kleinerer Deformationen liegt in deren besserer Übersichtlichkeit, was die Teilbewegungen, die Summierbarkeit der Teilbewegungen zu einem lückenlosen Bewegungsbild, Schlüsse auf Einspannung des Stückes: Trajektorien, Schubspannungen usw., kurz den ganzen Mechanismus der Entstehung betrifft; ferner aber auch das Verhältnis der Kristallisation der Einzelminerale zum Zustandekommen der Deformation, insbesondere der Faltenbögen. So läßt sich beispielsweise nur bei einem gewissen Größenverhältnis zwischen Korn und Faltenbogen der Fall einer erst nach Vollendung des Bogens erfolgten Kristallisation (ein Sonderfall der vorkristallinen Faltung) sicherstellen und sodann erst schlußfolgernd auch für die zur betreffenden Kleinfalte gehörigen Falten des Profils und damit überhaupt für die betreffende Deformationsphase (eines mehrphasigen Profils) behaupten.

Dergleichen Vorteile lockten zur Fortsetzung des in früheren Arbeiten begonnenen Studiums von Falten mit unserer heutigen, insbesondere was die räumliche Gefügeanalyse angeht, gänzlich überlegenen U-Tisch-Apparatur.

Es wurde ferner besonders darauf geachtet, zunächst monomikte Falten zu untersuchen, Falten, welche aus nur einem bis zwei, höchstens drei Mineralen bestanden: aus Kalzit, Quarz, Kalzit und Quarz, bisweilen mit Glimmer. Ich habe bereits in der letzten Folge dieser Studien allgemein erörtert, welche Bedeutung Gefügegenossen für den Mechanismus der Korndeformation haben (siehe S. 195 ff.). Da nach meiner 1923 (Jb. B. A.) am ausführlichsten vertretenen Auffassung die passive Gefügeregelung vom Mechanismus der Korndeformation abhängt, so ist ein Einfluß der Gefügegenossen auf die Regelung u. zw. auf deren Art, statistischen Grad und Genauigkeitsgrad, durchaus zu erwarten. Um diesen Einfluß eindeutig zu sehen, wurden Gefüge mit nur zwei Komponenten (Quarz, Kalzit) gewählt. Und um des Umstandes gewiß zu sein, daß die sonstigen Bedingungen der Deformation und Regelung für das Gefüge mit und ohne die in ihrem Einfluß zu untersuchende Komponente genauestens dieselben waren, wurden Deformationen untersucht, in welchen beiderlei Gefüge (also „Quarz-in-Quarz“-Gefüge und „Quarz-in-

<sup>1)</sup> Ich habe es in diesem Jahrbuch ferner auch bereits 1914, S. 597, ausdrücklich, aber damals erfolglos gerügt, daß man sich in der Petrographie mit schlechterorientiert geschnittenen, für manche Fragen unbrauchbaren Präparaten begnügt, im Gegensatz zu allen Fächern, welche sich mit anisotropen Gegenständen befassen.

Kalzit“-Gefüge) zugleich und nebeneinander unter ganz gleichen Bedingungen deformiert waren.

Man kann endlich, ähnlich so wie Königsberger monometamorphe und polymetamorphe Gesteine unterschied, einfach geregelte und mehrfach geregelte Gefüge zunächst begrifflich unterscheiden. Man wird in dieser Arbeit wirkliche Beispiele für solche reliktsche Regelungen finden, in dem z. B. eine jüngere Beanspruchung nur den sehr empfindlichen Kalzit unregelte, den unter den betreffenden Bedingungen weniger empfindlichen Quarz aber in seiner zu einem noch gut erschließbaren älteren Kräfteplan korrelaten Regelung beließ. Auch diese Feststellung, ob einfach geregelte oder mehrfach geregelte Gesteine vorliegen, gelingt besonders leicht und sicher zunächst an Kleinformen.

Ebenso gelingt besonders leicht und sicher die Unterscheidung, ob im betrachteten Bereiche — in unserem Falle ist dies der Faltenbogen — homogene oder inhomogene Regelung vorliegt, welche Aussage auf die Einzelminerale bezogen werden muß. Ich habe diese beiden Fälle schon 1911 (T. M. M.) und 1915 (Jb. R. A.) an Beispielen bekanntgemacht und begrifflich dadurch unterschieden, daß bei den „indifferenten“ Falten entweder keine mit damaligen Apparaturen wahrnehmbare Regelung oder keine Abhängigkeit der Regelung von den Faltenbogen bestand, während eine solche beim zweiten Typus vorhanden war (z. B. Quarzregelung korrelat zu Biegetrajektorien der Falte). Zum ersten Typus gehören z. B. alle von irgendeiner echten regelnden Cleavage nachträglich geschnittenen Faltenbogen und die faltenförmige Verbiegung einer Schichtenzeichnung durch nicht zu derselben parallele regelnde Scherflächen. Da Schmidts Gleitbrettfalte, wenn nachweislich, unter den homogen geregelten Falten zu suchen war und die Beurteilung der Gleitbrettfalte vom Gefüge aus Ergebnisse versprach, wurden homogen geregelte Falten untersucht. Es werden also hier zunächst die mit den gleich zu erörternden Methoden gewonnenen Beobachtungen an einfach und mehrfach geregelten, homogen geregelten Falten (und Stengelfalten)-formen aus Kalzit, Quarz und Kalzit-Quarz insbesondere durch Gefügediagramme beschrieben werden.

Die Arbeit entspricht teilweise einem am 16. März 1926 in München gehaltenen Vortrage (Centralbl. f. Min., 1926, Abt. B, Nr. 5, S. 168), in welchem alle empirischen Diagramme und die konstruktiv rotierten Diagramme bereits vorgelegt wurden.

Die Untersuchung der hier verwendeten Präparate ist keineswegs als allseitig abgeschlossen zu betrachten und dürfte mit weiter verfeinerten Methoden noch manches für den in Folge II aufgewiesenen Fragenkomplex ergeben.

## **Allgemeines zur Beschreibung von Faltenformen.**

Wir haben schon einleitend die äußere Form der Falte und das Gefüge unterschieden. Wollen wir klar und ohne mehr oder weniger unfreiwillige Behauptungen beschreiben, so ist es durchaus nötig, auch eine einfache Bezeichnungsweise für die räumliche Orientierung an der Faltenform zu wählen und zunächst von einer einfachen

Bezeichnungsweise für die Orientierung im Gefüge begrifflich scharf getrennt zu halten.

Auch die Bezugsrichtungen der Großtektonik haben wir begrifflich zunächst scharf für sich zu benennen. Denn die Aufgabe besteht derzeit eben darin, erst zu erforschen, wie weit und wie weit nicht diese Richtungen fallweise und vielleicht dann allgemein gesetzlich zusammenfallen.

1. Wir stellen die äußere Form der Falte, kurzweg die Falte, so in ein von der Kristallographie her geläufiges Achsenkreuz ( $+a, -a; +b, -b; +c, -c$ ), daß die Faltenachse, die Gerade, welche das Scharnier berührt, mit  $+b, -b$  zusammenfällt. Jene Faltenachse, welche so oft auch zur Stengelachse und Schnittgeraden von Scherflächen wird, auch als Umfaltungachse erscheint, ist also die  $b$ -Achse, kurz  $b$  mit den Richtungen  $+$  und  $-$ . Das Achsenkreuz steht dem Betrachter wie üblich gegenüber, und die Falte wendet dem Betrachter ihr Scharnier zu. Damit ist die eindeutige räumliche Beziehung gegeben, welche in dieser Arbeit zugrunde liegt und z. B. aus Fig. 18 ersichtlich ist.

Die Ebene ( $ac$ ) ist bekanntlich fast immer eine Symmetrieebene der Faltenform, kann aber als Symmetrieebene auch verlorengehen und fehlen, so z. B. bei einem im tektonischen Profil und im Kleingefüge nicht seltenen, aber unbeachteten Typus mit unparallelen  $b$ -Achsen aufeinander reitender Falten (achsendifergente Falten), welche übrigens unter anderem nicht durch Scherflächen mit konstantem Verschiebungsbetrag aus einer normalen achsenparallelen Falte erzeugbar sind. In einem Falle einer solchen achsendifergenten Falte ergab die Riefung der Teilfalte 1, welche auf Teilfalte 2 mit der an anderer Stelle schon besprochenen Füllung zwischen den Schenkeln reitet, zugleich die Richtung der  $b$ -Achse für Teilfalte 2 ( $+b_2, -b_2$ ), welche in Teilfalte 1 steckt. Falte 1 „reitet mit der Achsendifergenz  $\sphericalangle \varphi$  auf Falte 2“, Falte 1 ist sozusagen über Falte 2 hinausgezogen wie die Haut über die Ohren, u. zw. wahrscheinlich durch einen walzenden Hauptdruck, welcher links größer war als rechts und nach rechts schwenkendes Ausweichen erzielte.

Die Ebene ( $ab$ ) ist ebenfalls häufig eine Symmetrieebene der Faltenform, oft auch nicht (wie besonders häufig in Regionen mit geneigter Umfaltung [vgl. T. M. M. 1911] zu beobachten). Die Ebene ( $bc$ ) ist nie eine Symmetrieebene der Faltenform, oft aber, wie zahlreiche Beispiele dieser Arbeit zeigen, eine Symmetrieebene des Gefüges, was eben scharf zu trennen ist.

2. Die Symmetrieebenen und -achsen der Gefüge im Zusammenhange mit Symmetrieeigenschaften, des das Gefüge regelnden kinematischen (Bewegungsbild) und dynamischen (Kräftefeld) Aktes, habe ich umrißweise schon in der vorigen Folge als etwas ganz für sich zu Betrachtendes besprochen. Schmidt hat sie nach einem mir kürzlich zugegangenen Manuskript, welches in Jb. B. A. dieser Arbeit folgt, ausführlicher erörtert.

3. Schmidt hat ferner in seinen Gefügeanalysen mit Bezug auf tektonische Richtungen vorgeschlagen, das tektonische Streichen mit  $y$ , die zugehörige Gleitrichtung mit  $x$  und die das Lot auf Ebene ( $xy$ ) mit  $z$

zu bezeichnen. Diesem Vorschlage folge ich vorerst unter scharfer begrifflicher Trennung der Begriffe unter 1, 2, 3, wie erörtert. Denn ich meine, wir müssen beim heutigen Stande der Einsicht selbst auf die so übliche a-priori-Gleichsetzung von  $+x - x$  mit  $+b - b$  in gefalteten Gebieten während eines einzelnen Deformationsaktes verzichten, bis wir die Gleichsetzung gefügeanalytisch geprüft und, wie das sicher in sehr vielen Fällen gelingen wird, begründet haben.

Was die Vorzeichen von  $x$ ,  $y$ ,  $z$  betrifft, so schlage ich zur besseren Analogie mit meiner Faltenbezeichnung vor, daß die Bewegung gegen den Beschauer erfolgt, welcher die Vorzeichen wie im kristallographischen Achsenkreuz setzt.

Daß man die  $b$ -Achse der Faltenform nicht etwa schon begrifflich gleich Schmidts tektonischem Streichen setzen darf, obwohl ich selbst seit je nur Beispiele für das Zusammenfallen der beiden beibrachte und diesen Umstand seit 15 Jahren aus Großgefügen und Kleingefügen beschrieben und betont habe, das zeigt ohne weiteres auch das oben angeführte Beispiel der achsendivergenten Falten.

Einige allgemeine Rückerinnerungen an die formändernde Wirkung von Scherflächenscharen seien ebenfalls noch angebracht. Scherungen (Gleitungen) sind die wichtigsten Differentialbewegungen wie bei stetiger Formänderung überhaupt, so auch bei der Umformung der Gesteine. In Gesteinen mit nicht nur gezeichneten, sondern mechanisch reellen  $s$  verlaufen die Scherungen mehr oder weniger in  $s$ , bei sehr betontem  $s$ , wie in den Phylloniten mit ihren Glimmerhäuten, sogar bei beliebiger Einspannung des Gesteins, wie ich das als Umfaltung der Phyllonite beschrieben habe. Letzteres Bewegungsbild weicht dann am stärksten von der Änderung irgendeiner nichtmechanischen Vorzeichnung durch diese Vorzeichnung schneidende Scherflächen, Scherflächen also vom reinen Typus stetiger Umscherung einer Vorzeichnung, ab. Es wird eben in diesem Extremfall eine mechanisch wenig betonte Vorzeichnung, z. B. eine lediglich gezeichnete Parallelschicht, stetig zerschert (wie im Sonderfall der Gleitbrettfalte Schmidts), im anderen Extremfalle aber wird in der mechanisch betonten Vorzeichnung, z. B. reellem  $s$ , geschert und gegliedert (wie im Sonderfall meiner Phyllonitumfaltung). Zwischen diesen beiden Extremfällen lassen sich alle möglichen Mischtypen, abhängig von der Scherfestigkeit in dem von der betrachteten Deformationsphase bereits vorgefundenen  $s$ , erkennen, so daß an der Umformung vieler Gesteine beide Prinzipien, die Gleitung im  $s$  und die Gleitung schief zu  $s$ , durchaus nebeneinander walten. Dieser Satz und die Umfaltung der Phyllonite enthalten meine erste Einschränkung der Verbreitung des Schmidtschen Bewegungsbildes „Gleitbrettfaltung“.

Eine Abweichung vom Schmidtschen Bewegungsbild liegt ferner darin, daß, wie ich schon vor vielen Jahren hervorhob, im allgemeinen mit einer Einspannung des betrachteten Gesteinsbereiches „zwischen bewegten Backen“ zu rechnen ist. Wir haben also auch gerade in dem von Schmidt betrachteten Falle geringer mechanischer Wirkung der Vorzeichnung mit einer fortwährenden, meist stetigen Verlegung und Verbiegung der Scherflächen in  $s_1$  sowohl als der Scherflächen  $s_2$  schief zu  $s_1$  zu rechnen. Dadurch wird der Gesteinsbereich, in welchem sich

das Schmidtsche Bewegungsbild ebener Scherflächenscharen, welche eine Vorzeichnung mehr oder weniger gesetzmäßig verkrümmen, überhaupt festhalten läßt, faktisch sehr oft (insbesondere in Gesteinen mit einigermaßen betontem  $s_1$ ) so klein, daß nicht einmal für ein ganzes Handstück, bisweilen nicht einmal für einen ganzen Dünnschliff das Schmidtsche Bewegungsschema der Gleitbrettfalte anwendbar ist. Es besteht dann schon für kleine Bereiche keine Schar paralleler Schmidtscher Scherflächen mehr, sondern man muß, sofern man überhaupt etwa aus dem Gefüge Ursache hat, einzelne Verkrümmungen durch stetige Zerschierung schief zur Vorzeichnung zu erklären, seine Scherflächen als richtungändernde Flächenknäuel durch das Handstück und schließlich durch das Profil ziehen, womit man meines Erachtens eben schon wesentlich vom Bewegungsbild der ebenen Parallelscherflächen und damit auch von Schmidts Gleitbrettern abweicht. Aber auch der Betrag der Relativverschiebung in einer und derselben Scherfläche, ja nicht einmal der Richtungssinn in einer und derselben Ebene, man mag sie legen wie man will, ist sehr oft nicht einmal im Handstücke festzuhalten. Ich erinnere nur an die Erscheinung der Internfaltung und der gegeneinander gekehrten Falten-scharnieren von Einlagerungen. Wir haben in solchen Fällen eben gar nichts mehr vom Schmidtschen Bewegungsschema für das Profil in der Hand, sondern lediglich die aus dem Gefüge zu erweisende Annahme, daß überhaupt örtlich im Handstück Verkrümmungen durch stetige Zerschierung schief zur Zeichnung vorkommen. Und was mir besonders wichtig scheint: Es sind nicht diese Scherflächen mit ihren Beträgen, welche sich etwa im Sinne der Gleitbrettfalte unmittelbar einfach zur Deformation des ganzen geologischen Körpers summieren, sondern kompliziertere Teilbewegungsbilder, z. B. kleine, untereinander gleichgerichtete Stengelfalten usw. Ferner geht hieraus hervor, daß man keineswegs immer damit rechnen darf, daß die Beziehung des Kleingefüges zur Großtektonik eine so einfache sei, daß sich im orientiert genommenen Stücke die Hauptrichtungen des Kleingefüges (aufgewiesen durch die U-Tisch-Diagramme) mit den tektonischen Richtungen  $x$ ,  $y$ ,  $z$  decken wie in den von Schmidt beschriebenen Fällen. So z. B. ist es in Gebieten starker tektonischer (nicht technologischer) Walzung eines Bewegungshorizontes, wie ich es vom Tauernwestende beschrieb, oder auch in differential überfalteten Phylloniten mehr und mehr nur noch die  $b$ -Achse der Falten und Stengel, welche auf der Bewegungsrichtung des Ganzen (nicht mehr genau gleich der Schmidtschen „Gleitrichtung  $x$ “) senkrecht steht und mit  $y$  zusammenfällt, während gerade die  $(xy)$  Ebene als Haupt„gleitebene“ des Gefüges die Lage örtlich ändert, so daß im Einzelschliff in jenen Falten, mit deren  $b$  überhaupt eine Gefügeachse zusammenfällt, nur etwa  $b$  mit dieser Gefügeachse und diese mit  $y$  zusammenfällt.

Mit alledem ist gar nichts gegen das Vorkommen des auch gedanklich unentbehrlichen Schmidtschen Bewegungsbildes gesagt, dessen Nachweis aus dem Gefüge sich ja diese Arbeit mitangelegen sein läßt, wohl aber, meine ich, ist genug gesagt gegen dessen allzu rasche und ausgedehnte Anwendung, welche nicht modern gefügekundlich gebildete Fachgenossen zu tektonischen Spielereien führen könnte.

## Änderung von Vorzeichnungen und geologischen Formtypen durch Gesteintranslation.

Einen Sonderfall solcher Änderung von geologischen Vorzeichnungen hat Schmidt als Gleitbrettfalte erörtert, nämlich eine mechanisch, im Idealfall unwirksame Parallelfächenschar  $s_1$  durch  $s_2$  so zerschert, daß die Schnittgerade zwischen  $s_1$  und  $s_2$  normal auf der Richtung der Bewegung steht, wobei ein Gesetz der Verschiebungsbeträge vorgeschrieben wird. Bei der großen Bedeutung der Gesteintranslation durch parallele Scherflächen (vgl. I. Folge und siehe Geol. Arch., 1926, mit früherer Literatur) erschien es nötig, die Frage wie im Titel allgemeiner zu fassen, um so mehr, als auch diese Untersuchung in Fragen des Kleingefüges und der Großtektonik ganz gleicherweise unabhängig von absoluten Maßen mitspricht. Es schien namentlich „nötig, zu typisieren, in welche Formen geologisch interessierende Formen mit charakteristischen Symmetrieeigenschaften je nach ihrer Einstellung gegenüber der Parallelzerscherung übergehen“ (Zentralbl. f. Min., 1926, Maiheft, Sander, „Über das Gefüge usw.“). In dieser Form habe ich die Frage zur geometrischen Bearbeitung meinem Mitarbeiter, Herrn Dr. Schmidegg, vorgelegt. Zunächst soll ihre Bedeutung noch etwas veranschaulicht werden. Schmidt hat im angeführten Beispiele der Gleitbrettfalte als erster zuerst der Querzerscherung von Vorzeichnungen einen großen Einfluß auf das Profilbild zuerkannt. Dieser Einfluß läßt sich erstens aus dem Gefüge, wie es diese Arbeit zunächst übernimmt, überprüfen, dann aber auch durch Bearbeitung der eben aufgeworfenen Frage. Wir müssen ferner nicht nur für Gefügestudien (z. B. zur Abschätzung der selektiven Korndeformation, vgl. II. Folge) wissen, was durch Parallelzerscherung zunächst geometrisch dem Korn je nach seiner Lage zur Scherfläche zugemutet wird, sondern auch für tektonische Studien ist die Beantwortung der analogen Frage durchaus nötig. Wir werden nun z. B. sagen: Wenn nach Schmidt Gebirgsteile aus Gleitbrettfalten bestehen und die schief zur Erdoberfläche führende Zerschering der Erdkruste eine häufige Norm darstellt, so ist in tektonisch mehrphasigen Gebirgen zu erwarten:

1. daß eine neuerliche Zerschering über bereits gefaltete Gebirge ergeht, eine Umscherung (wie ich das analog zu meiner Umfaltung nennen müßte);

2. daß diese Umscherung durch  $s_2$  die bereits vorliegenden Formen mit der verschiedensten Einstellung gegenüber  $s_2$  trifft und demgemäß ändert, u. zw. besonders in ihren Symmetrieeigenschaften.

Man müßte dabei unterscheiden, ob die Translation

- a) mit konstantem Betrag der Relativverschiebung in den  $s_2$ -Flächen oder
- b) mit sich (stetig) änderndem Betrage erfolgt.

3. Schmidt müßte noch außerdem erwarten, daß 2 b mit dem gesetzmäßig sich ändernden Verschiebungsbetrag der „Gleitbrettfalte“ erfolgt.

Gerade um 3 tektonisch zu prüfen, also um zu untersuchen, ob in den einigermaßen bekannten Gebirgen wirklich etwas für eine normale und häufige Rolle der Gleitbrettfalte spricht, müssen wir vorerst in aller Allgemeinheit geometrisch untersuchen, welche Änderungen von

Vorzeichnungen und geologischen Formtypen (z. B. namentlich von „Falten“ als Vorzeichnung betrachtet) dann überhaupt durch Gesteinstranslation nach 2a, 2b und 3 zu erwarten sind. Finden wir dann etwa, daß die nach 3 zu erwartenden Formen, z. B. durch Umscherung, neugefaltete Falten mit verbogener Achse, wie solche ja gefügeanalytisch nachweisbar sind (vgl. Fig. 21, 22), eine große oder eine kleine oder gar keine Rolle im Gesamtmaterial der bekannten Gebirge spielen, nun so ist beispielsweise dementsprechend für oder wider nicht die Existenz, aber die tektonische Rolle der Gleitbrettfalte entschieden. Auch ist es denkbar, auf dem hier umrissenen Wege zur Erklärung jener tektonischen Formen zu gelangen, welche man dank der lauterer Beobachtung von Forschern, wie Spitz (in den rätschen Bögen z. B.)<sup>1</sup>, kennt, aber nicht ganz versteht, oder auch erst zur Kenntnis der Formen zu gelangen, welche der leider häufigere Typus des geologischen Beobachters übersah, weil er sie nicht von vornherein verstand. Diese Bemerkungen mögen es begründen, daß ich meinem Mitarbeiter, Herrn Dr. Schmidegg, zunächst eine allgemeine Behandlung des Themas übertrug, als dessen erster Anreger bei uns bekanntlich Schmidt zu betrachten ist.

### Geometrische Erörterungen zur Umscherung von Vorzeichnungen (O. Schmidegg).

Es sollen hier die Veränderungen untersucht werden, die vorgezeichnete Linien und Flächen in einer Gesteinsmasse erfahren, wenn sie durch parallele Flächenscharen zerschert werden, u. zw. sollen diese Flächen Ebenen sein, und die Größe der Verschiebungsbeträge soll proportional dem Abstand von einer beliebigen Ebene  $E_0$ , die als in Ruhe befindlich angesehen wird, sein. Hierbei sind die vorgezeichneten Linien und Flächen nur als reine Vorzeichnungen zu betrachten, auf durch Materialbeschaffenheit bedingte Unterschiede, wie verschiedene Festigkeit usw., wird hier nicht eingegangen.

Es sind das dieselben Bedingungen, unter denen die sogenannten einfachen Schiebungen an Kristallen vor sich gehen (Deformationsellipsoid).<sup>2</sup>) — Diese Veränderungen werden nun mit Hilfe der analytischen Geometrie untersucht, wie es schon Schmidt, jedoch für die Zerschierung nach einer Flexur, also nicht nach einfachen proportionalen Verschiebungsbeträgen, getan hat.<sup>3</sup>)

In das Scherflächensystem wurde nun ein Achsenkreuz  $XYZ$  hineingelegt, u. zw. derart, daß

$XY$  die in Ruhe befindliche Gleitebene  $E_0$ ,

$X$  die Gleitrichtung,

$XZ$  die auf die Gleitebenen senkrechte Ebene der Schiebung darstellt. Die zu  $E_0$  parallelen Ebenen legen laut Voraussetzung Wege

<sup>1</sup>) Nach Drucklegung dieser Arbeit ergab ein Besuch der Engadiner Dolomiten, daß die Korngröße dem derzeitigen U-Tisch-Verfahren nicht entspricht und eine gar nicht bis ins Korngefüge greifende Teilbewegung zum mindesten vorherrscht.

<sup>2</sup>) Johnsen. Die Struktureigenschaften der Kristalle. Festsch. d. Min., 1913, S. 112.

<sup>3</sup>) Schmidt, Zum Bewegungsbild liegender Falten. Verh. d. geol. R. A. 1912, Nr. 3.

parallel zu  $E_0$  zurück, die proportional dem Abstand von  $E_0$  sind. Der Betrag der Verschiebung  $s$  ist dann gegeben durch die Strecke, die ein Punkt der Ebene zurücklegt, der um die Längeneinheit von  $E_0$  entfernt ist. Die Verschiebung eines beliebigen anderen Punktes im Abstände  $z$  von  $E_0$  beträgt dann  $zs$ . Der Winkel  $\alpha$  zwischen der Verbindung: neue Lage des Punktes mit 0-Punkt und der  $Z$ -Achse gibt den Winkel der Verschiebung an und  $\operatorname{tg} \alpha = s$  ist dann wieder der Betrag der Verschiebung im Abstände 1 (siehe Abbildung).

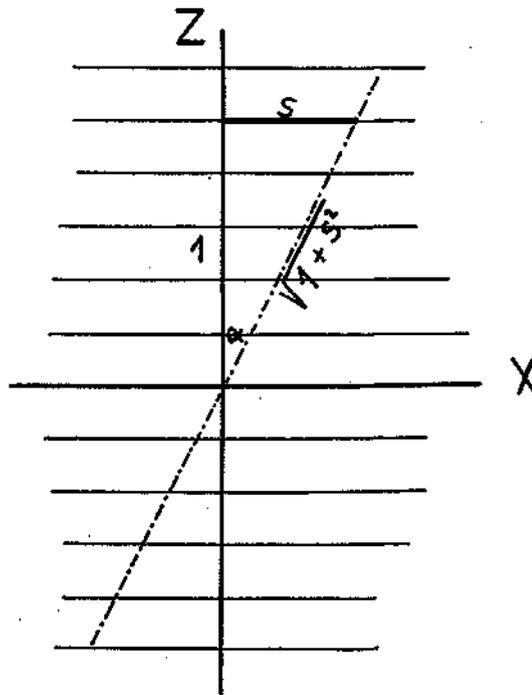


Fig. 1.

Die Formeln für die Verschiebung lauten dann

$$x = x_1 - sz_1$$

$$y = y_1$$

$$z = z_1$$

wobei an Stelle der alten Veränderlichen  $xyz$  die rechts stehenden Ausdrücke zu setzen sind.

Welche Ebene der Figur man als die in Ruhe befindliche Ebene  $E_0$  ansieht und wo der 0-Punkt des Koordinatensystems hinkommt, ist vollständig gleichgültig, da man ja durch Parallelverschiebung des ganzen Systems jede beliebige Ebene zur Ebene  $E_0$  machen kann und jeden beliebigen Punkt zum 0-Punkt machen kann und es ja nur auf relative Bewegungen ankommt. Hier wurde die  $XY$ -Ebene als  $E_0$ -Ebene so gewählt, daß eine möglichst einfache analytische Darstellung der Verhältnisse ermöglicht wurde, also meist eine Symmetrieebene, so daß oberer und unterer Teil der Figur in der Darstellung Verschiebungen in verschiedener Richtung ausführten. Was die Richtung der Verschiebungen anbelangt, so wurde das System immer so angenommen, daß sich der obere Teil nach rechts (in der Richtung der positiven  $X$ -Achse) und

der untere Teil nach links bewegt. Nach der Translation kann dann das Koordinatensystem in beliebiger Weise gedreht und parallel verschoben werden, um Symmetrieverhältnisse usw. besser ersichtlich zu machen.

Zuerst werden die Veränderungen untersucht, die gerade Linien und Ebenen durch die Verschiebung erfahren, da diese von Bedeutung sind für die Einwirkung der Translation auf Minerale, die in Form von kleinen Stäbchen oder Blättchen (z. B. Glimmerblättchen) im zerscherten Gestein vorhanden sind.

Eine Gerade kann durch lineare Translation nur wieder in eine Gerade übergehen, da der lineare Grad der Gleichung durch Einsetzen der Verschiebungsformeln, die ja auch nur vom ersten Grade sind, nicht geändert wird. Die Gerade wird nur in der Richtung der Translation gedreht und erfährt außerdem eine Streckung.

Nimmt man die Gerade durch den 0-Punkt des Koordinatensystems gehend an, so kann man ihre Gleichungen anschreiben mit

$$\left. \begin{aligned} y &= mx \\ z &= nx \end{aligned} \right\}$$

$n$  ist hierbei ein Maß für die Neigung der Geraden gegen die Gleitebene und  $m$  für die Neigung gegen die Ebene der Schiebung. Die Gleichungen gehen durch Translation über in

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= m(x_1 - sz_1) \\ z_1 &= n(x_1 - sz_1) \end{aligned} \right\} \text{ oder } \left. \begin{aligned} y_1 &= \frac{m}{1+sn} x_1 \\ z_1 &= \frac{n}{1+sn} x_1 \end{aligned} \right\}$$

Der Neigungswinkel der Geraden mit der Gleitebene sei  $\delta$  bzw. nach der Translation  $\delta_1$  und ist gegeben durch

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{n}{\sqrt{1+m^2}} \quad \operatorname{tg} \delta_1 = \frac{n}{\sqrt{(1+ns)^2 + m^2}}$$

Um die Änderung dieses Winkels zu betrachten, setzen wir  $m = 0$ , d. h. wir nehmen an, daß die Gerade in der Ebene der Schiebung liege. Wir erhalten dann die Gleichungen:

$$\operatorname{tg} \delta = n \quad \text{und} \quad \operatorname{tg} \delta_1 = \frac{n}{1+ns}$$

oder

$$\operatorname{ctg} \delta = \frac{1}{n} \quad \text{und} \quad \operatorname{ctg} \delta_1 = \frac{1}{n} + s$$

Bei positiven  $n$ , wenn die Gerade in der Translationsrichtung ansteigt, ist, wie leicht ersichtlich,  $\delta_1$  kleiner als  $\delta$ . Der Neigungswinkel wird also durch die Verschiebung verringert. Ist  $n$  hingegen negativ, d. h., die Gerade fällt in der Translationsrichtung ab, so wird umgekehrt der Neigungswinkel vergrößert, aber nur bis zu einer Grenze, nämlich wenn die Gerade senkrecht auf der Gleitebene steht, also  $\delta_1 = 90^\circ$  wird. Das ist der Fall, wenn

$$-\frac{1}{n} = s$$

denn dann wird  $\operatorname{ctg} \delta_1 = 0$ . Wird der Winkel  $\delta$  weiter vergrößert, so wird die Gerade bei der Translation überkippt.

Wird außer  $m = 0$  auch  $\frac{1}{n} = 0$ , so liegt die Gerade in der  $Z$ -Achse und es wird

$$x = 0 \text{ zu } x = sz.$$

Die Gerade dreht sich nur um den Winkel der Verschiebung, und die Gleichung  $x = sz$  kann dann direkt als charakteristische Gleichung für die Verschiebung angesehen werden.

Liegt die Gerade nicht in der Ebene der Schiebung, sondern schief dazu, so daß ihre Projektion auf die Gleitebene damit den Winkel  $\rho$  einschließt,  $m$  also einen beliebigen positiven oder negativen Wert hat, so gilt dasselbe, nur wird die Wirkung der Verschiebung mit wachsendem  $\rho$  verringert. Statt  $s$  hat man dann als Verschiebungsbetrag  $s'$  einzusetzen, wobei

$$s' = s \cos \rho = \frac{s}{\sqrt{1 + m^2}}$$

Eine Ebene ergibt bei der Translation mit linear wachsender Verschiebungsbeträgen ebenfalls wieder eine Ebene.

Die Gleichung einer durch 0 gehenden Ebene sei

$$x \cos \alpha + y \cos \beta + z \cos \gamma = 0$$

wobei  $\alpha, \beta, \gamma$  die Winkel der Ebene mit den Koordinatenebenen  $YZ, ZX$  und  $XY$  bedeuten.

Durch Translation geht diese Ebene über in

$$x_1 \cos \alpha + y_1 \cos \beta + z_1 (\cos \gamma - s \cos \alpha).$$

Die Ebene behält also ihre Spur in der  $XY$ -Ebene bei, wird jedoch um den Winkel  $\rho$  gedreht. Während sie zuerst den Winkel  $\gamma$  mit  $XY$  bildete, bildet sie jetzt damit den Winkel  $\gamma_1$  dessen  $\cos$

$$\cos \gamma_1 = \frac{\cos \gamma - s \cos \alpha}{\sqrt{1 - 2s \cos \alpha \cos \gamma + s^2 \cos^2 \alpha}}$$

Betrachten wir zunächst eine Ebene, die senkrecht auf die Ebene der Schiebung steht, so gilt für ihre Spur in der Ebene der Schiebung und damit überhaupt für den Neigungswinkel der Ebene das bei der Geraden Angegebene, die in der Ebene der Schiebung liegt. Ebenso hat eine beliebig liegende Ebene denselben Neigungswinkel zur Gleitebene, wie die Gerade, die in der Ebene liegt und senkrecht auf ihre Spur steht.

Es handelt sich im folgenden darum, festzustellen, was mit einer Falte geschieht, wenn sie in der erwähnten Weise einer linearen Zerschering unterworfen wird, im besonderen, ob sie vorhandene Symmetrieeigenschaften beibehält oder einbüßt.

Es ist nun nötig, für die Ausgangsfigur einige Voraussetzungen mathematischer Art zu machen. Zunächst soll jede Falte als ein (offenes) zylindrisches Gebilde mit gerader Achse aufgefaßt werden, so daß sich durch jede Falte senkrecht zu deren Streichen eine Ebene als

Normalschnitt durchlegen läßt, deren Schnittfigur eine Kurve, die Leitlinie des Zylinders, darstellt, die meistens ungefähr ein parabelähnliches Gebilde ist. Durch diese Leitlinie laufen dann senkrecht zum Normalschnitt die Erzeugenden des Zylinders parallel der Zylinderachse und damit auch parallel zum Streichen der Falte. Wie sich diese Bezeichnungen zum „Achsenkreuz der äußeren Faltenform“ verhalten, ist auf S. 328 zu ersehen.

Falten mit gekrümmter Achse sowie ineinandergeschachtelte Falten mit nichtparallelen Achsen (achsendivergente Falten) sollen zunächst hier nicht behandelt werden.

Ferner sollen die Falten eine Symmetrieebene parallel zur Faltenachse (Ebene  $ab$ ) haben, da es ja hier besonders auf die Symmetrieeigenschaften ankommt. Eine Symmetrieebene senkrecht zur Faltenachse (Ebene  $ac$ ) haben sie ja als zylindrische Gebilde schon von vornherein. Diese letztere bleibt auch nach der Translation immer erhalten, da ein Zylinder durch eine Zerschierung mit linear wachsenden Verschiebungsbeträgen wieder nur in einen Zylinder übergehen kann und die gerade Zylinderachse als Gerade dabei erhalten bleibt.

Die andere Symmetrieebene parallel zur Faltenachse wird jedoch im allgemeinen, d. h. in beliebig schiefer Lage der Achse, verlorengehen. Eine Ausnahme machen jedoch diejenigen Falten, deren Leitlinie eine Kurve zweiter Ordnung, also einen Kegelschnitt, darstellt. Diese behalten, wie später gezeigt wird, ihre Symmetrie auch parallel zur Faltenachse in jedem Falle bei. Sie werden deshalb eigens behandelt und sind hier zunächst ausgenommen.

A. Es kommen also zunächst als Leitlinie nur Kurven von mindestens dritter Ordnung in Betracht mit einer Symmetrieebene parallel zur Faltenachse. In der Gleichung des Zylinders ist diese Symmetrie dadurch erkennbar, daß eine Veränderliche nur in quadratischer Form auftritt (nur mit geradem Exponenten von  $x$ ,  $y$  oder  $z$ ) oder die Gleichung sich durch Koordinatentransformation auf eine solche Form bringen läßt. Im allgemeinen kann man die Kurve dann darstellen durch  $y = f(x^2)$  oder  $y^2 = f(x)$ . Im ersteren Falle liegt die Symmetrieebene parallel zur  $XZ$ -Ebene, im zweiten parallel zur  $YZ$ -Ebene.

Um die Fälle festzustellen, in denen diese Symmetrieebene auch bei diesen Falten erhalten bleibt, werden die einzelnen Lagemöglichkeiten der Falte gegenüber der Gleitebenenschar durchgegangen.

A. I. Die Faltenachse steht senkrecht zur Gleitrichtung ( $\parallel Y$ ).

1. Die Symmetrieebene liegt parallel zur Gleitrichtung ( $\parallel X$ ).

Die Gleitebene liegt parallel zum Normalschnitt, und man kann daher hier einfach die Translation eines Normalschnittes betrachten, also der Kurve

$$z^2 = f(x).$$

Sie geht durch Translation über in

$$z_1^2 = f(x_1 - sz_1).$$

Hier tritt  $z_1$  nicht mehr nur als quadratisches Glied auf, auch läßt sich die Gleichung nicht mehr durch bloße Koordinatentransformation

in eine solche mit nur quadratischen  $z$ -Gliedern überführen. Die neue Kurve und damit auch die zerschnittene Falte sind also asymmetrisch. Dies ist auch aus der Fig. 2, die die Kurve  $y = \frac{1}{4}x^2$  darstellt, deutlich zu ersehen.

Dasselbe Ergebnis erhält man auch, wenn

2. die Symmetrieebene senkrecht zur Gleitrichtung ( $\parallel Z$ ) oder

3. " " " beliebig ( $\parallel XZ$ -Ebene)

liegt.

In jedem Falle geht die Symmetrieebene verloren. Es verlieren also symmetrische Falten, wenn sie so zerschnitt werden, daß ihre Faltenachse in einer Gleitebene und senkrecht zur Gleitrichtung liegt, bei der Zerschierung nach linearen Gesetzen, ihre Symmetrieebene parallel zur Faltenachse.

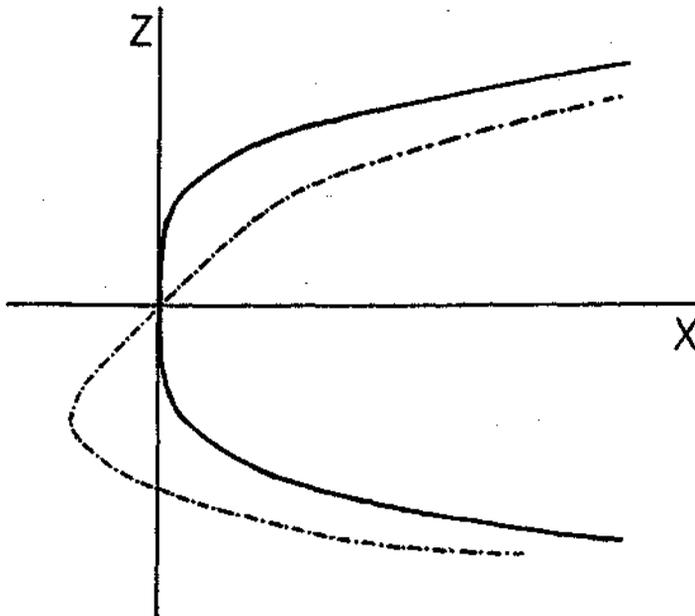


Fig. 2.

II. Die Faltenachse ist parallel zur Gleitrichtung ( $\parallel X$ ).

Liegt die Faltenachse in der Gleitrichtung, so schneiden die Gleitflächen die Falte in untereinander parallelen Geraden, die nur in sich selbst verschoben werden. In der äußeren Form der Falte tritt hierbei gar keine Änderung ein, wohl tritt aber eine innere Verzerrung ein, indem Punkte, die früher einen Normalabschnitt gebildet haben, jetzt auf einem schief liegenden Schnitt liegen. Die Symmetrie bleibt un geändert (Fig. 3).

III. Die Faltenachse steht senkrecht auf die Gleitebene ( $\parallel Z$ ).

1. Die Symmetrieebene ist parallel zur Gleitrichtung ( $\parallel XZ$ ).

Da die Falte hier symmetrisch zur  $XZ$ -Ebene liegt, muß in der Gleichung als Zeichen für die Symmetrie die  $y$ -Veränderliche mit geradem Exponenten vorhanden sein:

$$y^2 = f(x).$$

Durch Translation erhält man

$$y_1^2 = f(x_1 - sz_1).$$

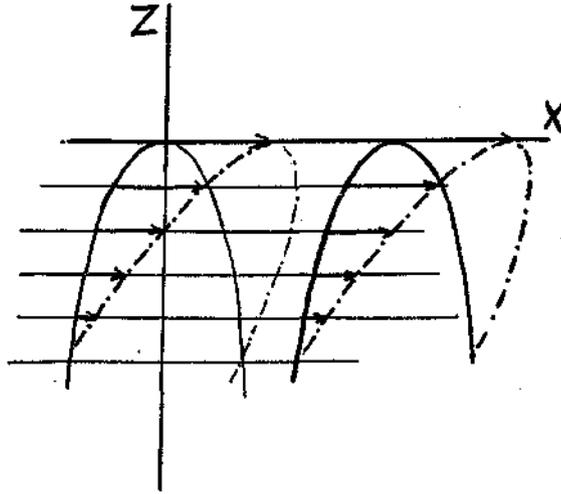


Fig. 3.

Die  $y$ -Veränderliche bleibt weiter mit nur geradem Exponenten, und die Symmetrie bleibt daher erhalten. Die Falte wird nur schiefgestellt und ihre Breite, gemessen am Normalschnitt, verändert (Fig. 4).

Um zu bestimmen, in welcher Art die Breite der Falte verändert wird, ist es nötig, den Normalschnitt zu berechnen. Dies geschieht am

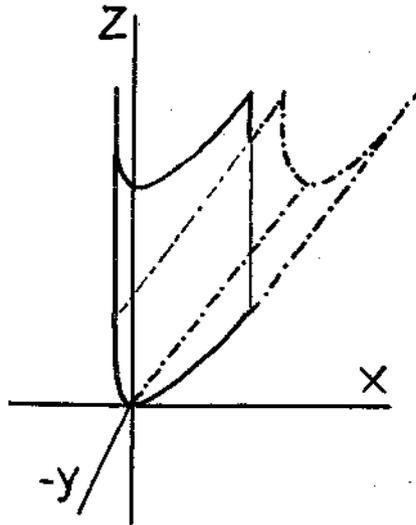


Fig. 4.

besten durch Drehung des Achsensystems um  $Y$ , so daß die neue  $Z$ -Achse in die neue Faltenachse fällt und der Normalschnitt dann in der  $X'Y$ -Ebene liegt.

$$y_1^2 = f(x'_1 \cdot \sqrt{1 + s^2})$$

Daraus ersieht man, daß an Stelle von  $x_1$  die Veränderliche  $x'_1 \sqrt{1 + s^2}$  getreten ist, was also einer Verbreiterung der Falte in der Richtung der  $Y$ -Achse entspricht, da  $\sqrt{1 + s^2}$  immer größer als 1 ist.

2. Die Symmetrieebene steht senkrecht zur Gleitrichtung. Hier ist die Symmetrieebene die  $YZ$ -Ebene, die quadratische Veränderliche daher das  $x$ :

$$y = f(x^2).$$

Die Gleichung geht bei der Translation über in

$$y_1 = f(x_1 - s z_1)^2.$$

Die Falte wurde hiebei in der Richtung der Translation nach der Seite umgelegt. Eine etwa vorhandene Symmetrieebene kann daher auch nicht mehr die  $XZ$ -Ebene sein, sondern muß dazu schief liegen. Um sie in der Gleichung zum Ausdruck zu bringen, drehen wir auch das Koordinatensystem so um den Winkel der Translation  $\alpha$ , daß die Faltenachse wieder in die neue  $Y'Z'$ -Ebene fällt, indem wir  $x_1$  und  $z_1$  ersetzen durch

$$x_1 = \frac{x'_1 + s z'_1}{\sqrt{1 + s^2}} \quad \text{und} \quad z_1 = \frac{z'_1 - s x'_1}{\sqrt{1 + s^2}}.$$

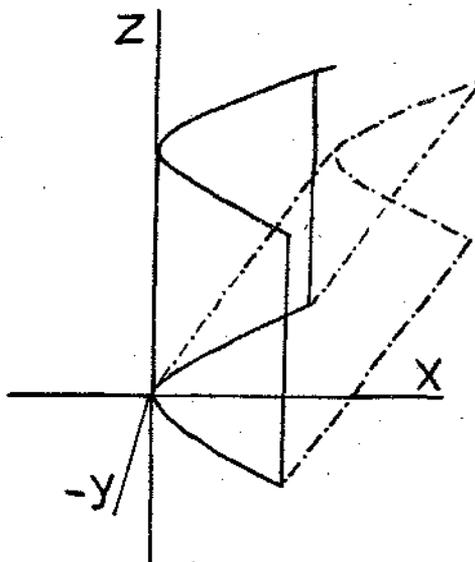


Fig. 5.

Wir erhalten dann, da die Glieder mit  $z$  wegfallen,

$$y'_1 = f[x_1'^2 (1 + s^2)],$$

also wieder eine Gleichung, in der  $x$  wieder nur in quadratischer Form auftritt. Die neue Falte ist also wieder symmetrisch, u. zw. zur translatierten  $X_1 Z_1$ -Ebene.

Vergleicht man diese Gleichung mit der der ursprünglichen Falte, so sieht man, daß die Veränderliche  $x$  wieder durch  $x'_1 \sqrt{1 + s^2}$  ersetzt wurde, was aber diesmal, da die Symmetrieebene nicht mehr parallel, sondern senkrecht zur  $X$ -Achse liegt, einer Verschmälerung der Falte entspricht (Fig. 5).

3. Die Symmetrieebene liegt beliebig.

Hier gilt dasselbe wie bei 1 und 2, jedoch liegen die Verhältnisse etwas komplizierter, da die Symmetrieverhältnisse nicht mehr so leicht

übersehbar sind. Die Gleichung der Falte (erhalten durch Drehung der Falte mit der Gleichung  $f(x^2, y) = 0$  um dem Winkel  $\varphi$ , wobei  $\operatorname{tg} \varphi = m$ ) sei

$$f\left[\left(\frac{x + my}{\sqrt{1 + m^2}}\right)^2, \left(\frac{y - mx}{\sqrt{1 + m^2}}\right)\right] = 0.$$

Sie geht durch Translation über in

$$f\left[\left(\frac{x_1 - s z_1 + m y_1}{\sqrt{1 + m^2}}\right)^2, \frac{y_1 - m(x_1 - s z_1)}{\sqrt{1 + m^2}}\right] = 0.$$

Durch mehrmalige Koordinatentransformation und Auflösen nach  $y$  kann man sie schließlich auf die Form bringen

$$y_1 = f\left[\frac{1}{\sqrt{1 + s^2}}\left\{x_1\left(1 + \frac{s^2}{\sqrt{1 + m^2}}\right) + z_1\left(s + \frac{s}{\sqrt{1 + m^2}}\right)\right\}\right]^2,$$

also in eine Gleichung, die für jeden beliebigen Wert von  $z_1$  symmetrisch in bezug auf  $x$  ist, d. h. die Fläche hat eine Symmetrieebene in der durch die Koordinatentransformation erhaltenen  $Y'Z'$ -Ebene, also in ihrem Normalschnitt. Wir haben also wieder eine symmetrische Falte vor uns. Ob die Falte verbreitert oder verschmälert wird, hängt von  $m$ , also von der Lage der Falte zur Ebene der Schiebung, ab.

IV. Die Faltenachse liegt schief in der Ebene der Schiebung ( $\parallel XZ$ ).

1. Die Symmetrieebene liegt in der Ebene der Schiebung ( $\parallel XZ$ ).

2. „ „ „ steht senkrecht zur Ebene der Schiebung ( $\perp XZ$ ).

3. Die Symmetrieebene liegt beliebig.

Alle diese drei Fälle lassen sich auf die Lagen, die wir unter III hatten, zurückführen. Dort wurden symmetrische Falten erhalten, die die Faltenachse schief in der Ebene der Schiebung liegen hatten, also wie hier angegeben, und die durch weitere Translation natürlich wieder symmetrische Falten ergeben, wobei sich ihre Breite weiter vergrößert, bzw. verkleinert.

V. Die Faltenachse liegt schief in einer Ebene senkrecht zur Gleitrichtung ( $\parallel YZ$ ).

Diese Lage führt bei der Translation zu asymmetrischen Falten, da der Schnitt der Ebene der Schiebung mit der Falte Kurven gibt, die durch Translation, entsprechend I, in unsymmetrische Formen übergehen.

Dasselbe gilt auch für:

VI. die Faltenachse liegt schief in der Gleitebene ( $\parallel XY$ ) und

VII. „ „ „ zu keiner Koordinatenebene parallel.

B. Ist der Normalschnitt der Falte eine Kurve zweiter Ordnung, also ein Kegelschnitt, so behält sie bei der Translation ihre Symmetrie in jedem Falle bei. Denn eine Kurve zweiter Ordnung geht durch Translation mit linearen Verschiebungsgesetzen wieder in eine Kurve zweiter Ordnung über, und diese haben alle Symmetrieeigenschaften: Ellipse (Kreis), Parabel, Hyperbel. Es werden nun im folgenden wieder die einzelnen Lagen behandelt u. zw. nur für Falten mit parabelförmigem Querschnitt,

da sie den gewöhnlichen Faltenformen meist am nächsten kommen und auch analytisch am leichtesten zu behandeln sind. Für Falten mit elliptischem und hyperbolischem Querschnitt, wie sie auch in der Natur häufig vertreten sind, gilt dann in entsprechender Weise dasselbe.

I. Die Faltenachse steht senkrecht zur Gleitrichtung ( $\parallel Y$ ).

1. Die Parabelachse ist parallel zur Gleitrichtung ( $\parallel X$ ).

Die Gleichung der Parabel lautet dann

$$z^2 = p x$$

und geht durch Translation über in

$$z_1^2 = 2 p (x_1 - s z_1).$$

Diese Gleichung läßt sich leicht umgestalten in

$$(z_1 + p s)^2 = 2 p \left( x_1 + \frac{p s^2}{2} \right).$$

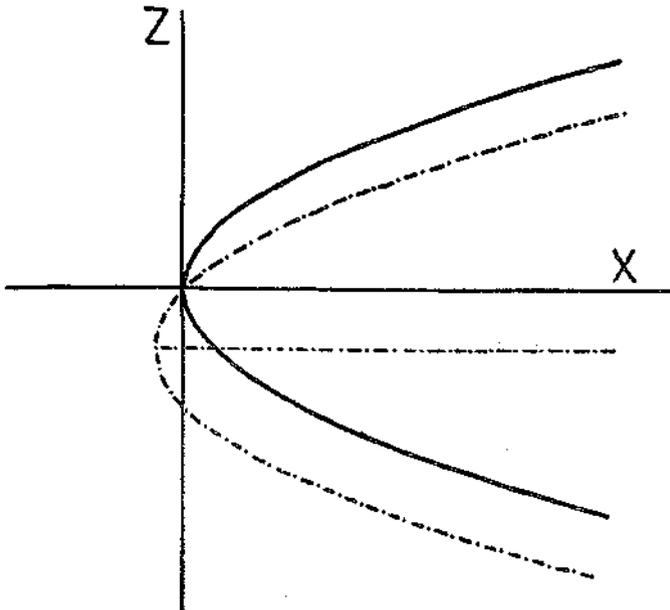


Fig. 6.

Man erkennt sofort, daß das wieder eine Parabel ist, die denselben Parameter wie früher hat. Sie ist nur parallel verschoben u. zw. die Achse um den Betrag  $z_0 = -p s$  nach unten und der Scheitel um  $x_0 = -\frac{p s^2}{2}$  nach links. Die Form der Falte hat sich also hiebei

nicht geändert, jedoch sind innere Verschiebungen eingetreten, indem z. B. die Punkte, die früher den Scheitel bildeten, nach der Translation nicht mehr im Scheitel liegen, sondern im oberen Schenkel (Fig. 6).

2. Die Parabelachse steht senkrecht auf die Gleitrichtung ( $\parallel Z$ ).

Die Gleichung ist gegeben durch

$$x^2 = 2 p z$$

und geht durch Translation über in

$$(x_1 - s z_1)^2 = 2 p z_1.$$

Sie läßt sich durch Koordinatentransformation (Drehung um  $\alpha$  in der Translationsrichtung) überführen in

$$\left(z_1 - \frac{ps}{\sqrt{1+s^2\beta}}\right)^2 = \frac{2p}{\sqrt{1+s^2\beta}} \left(x_1 + \frac{ps^2}{2\sqrt{1+s^2\beta}}\right).$$

Diese Gleichung stellt wieder eine Parabel dar, jedoch mit verändertem Parameter  $p_1 = \frac{p}{\sqrt{1+s^2\beta}}$ ; setzt man die neue Bezeichnung  $p_1$  in die Gleichung ein, so erhält man

$$(z_1 - p_1s)^2 = 2p_1 \left(x_1 + \frac{p_1s^2}{2}\right).$$

Die neue Parabel ist also, wie die Gleichung anzeigt, außer der Drehung um  $\alpha$  in der Translationsrichtung, mit ihrer Achse um  $p_1s$  nach links

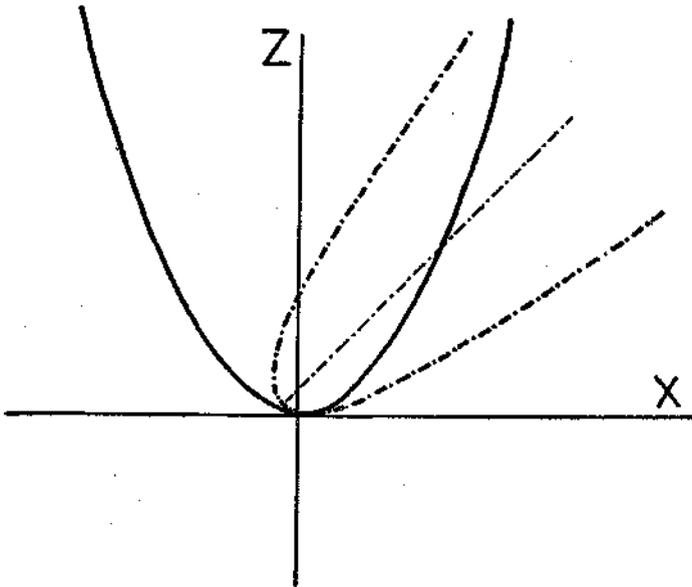


Fig. 7.

und der Scheitel um  $\frac{p_1s}{2}$  (in der Richtung der neuen  $Z'$ -Achse) nach

unten gerückt. Was den neuen Parameter  $p_1 = \frac{p}{\sqrt{1+s^2\beta}}$  betrifft, so zeigt der an, daß die Parabel, da der Ausdruck  $\sqrt{1+s^2\beta}$  für jedes  $s$  größer also 1 ist und mit wachsendem  $s$  immer größer wird, immer schmaler wird, je größer der Betrag der Translation ist (Fig. 7).

3. Die Parabelachse liegt schief in der Ebene der Schiebung ( $\parallel XZ$ ). Dieser Fall läßt sich auf den vorigen zurückführen, bei dem wir eine schief liegende Falte erhielten. Durch weitere Translation wird sie noch weiter verschmälert und im angegebenen Sinne verschoben.

II. Die Faltenachse liegt parallel zur Gleitrichtung ( $\parallel X$ ). In diesem Falle tritt bei der Parabel gegenüber den gewöhnlichen Falten kein

Unterschied ein. Die Falte wird ebenfalls nur in sich selbst verschoben und bleibt in der äußeren Form unverändert.

III. Die Faltenachse steht senkrecht zur Gleitebene ( $\perp Z$ ). Es gelten hier auch wieder die Beziehungen, wie sie schon unter A abgeleitet wurden: Beibehaltung der Symmetrie unter Veränderung der Form durch Verbreiterung, bzw. Verschmälerung.

IV. Die Faltenachse liegt schief in der Ebene der Schiebung ( $\parallel XZ$ ). Ebenfalls Rückführbarkeit auf III.

V. Die Faltenachse liegt schief in einer Ebene senkrecht zur Gleitrichtung ( $\parallel YZ$ ).

VI. Die Faltenachse liegt schief in der Gleitebene ( $\parallel XY$ ).

VII. Die Faltenachse liegt zu keiner Koordinatenebene parallel.

Der Schnitt der Ebene, der Schiebung mit der Falte gibt immer Parabeln, die nach I. auch nach der Schiebung Parabeln bleiben.

Es läßt sich auch ganz allgemein zeigen, daß eine Falte mit parabelförmigem Querschnitt, also ein parabolischer Zylinder durch lineare Translation nur wieder in einen parabolischen Zylinder übergehen kann. Die Gleichung für einen parabolischen Zylinder enthält als Gleichung 2. Grades nur höchstens quadratische Glieder. Durch die lineare Translation, also durch Einsetzen von  $x_1 - s z_1$  für  $x$ , können die Exponenten nicht vergrößert werden, es muß sich immer wieder eine quadratische Gleichung, also eine Fläche 2. Ordnung, ergeben, und diese kann nur ein parabolischer Zylinder sein, da sie die unendlich ferne Gerade und den Mangel eines Mittelpunktes beibehält. Dasselbe gilt dann in entsprechender Weise auch für elliptische und hyperbolische Zylinder.

Eine Falte mit parabolischem, elliptischem oder hyperbolischem Querschnitt geht also bei einer linearen Translation immer wieder in eine Falte mit parabolischem, elliptischem, bzw. hyperbolischem Querschnitt über, behält also ihre Symmetrie unter allen Umständen bei.

Faßt man die Ergebnisse über die lineare Translation von symmetrischen Falten zusammen, so zeigt sich, daß wir hier vier Möglichkeiten unterscheiden können, je nach der Form des Schnittes der Ebene der Schiebung mit der Falte.

1. Die Schnitte sind Gerade parallel zur Gleitrichtung. Sie werden durch die Translation nur in sich selbst verschoben, allerdings mit verschiedenen Beträgen. Die Falte erleidet äußerlich überhaupt keine Veränderung, auch nicht in ihrer Lage im Raume, jedoch erfährt sie innere Verschiebungen.

Lage II. Faltenachse parallel zur Gleitrichtung.

2. Die Schnitte sind Gerade in schiefer Lage zur Gleitrichtung. Sie werden in der Ebene der Schiebung gedreht. Die Neigung der Faltenachse ändert sich hiebei, und die Falte behält ihre Symmetrie bei.

Lage III, IV. Die Faltenachse liegt in der Ebene der Schiebung schief zur Gleitrichtung.

3. Die Schnitte sind Kurven, die bei der Translation ihre Symmetrie beibehalten. Dies ist nur bei Falten der Fall, deren Querschnitte Kegelschnitte sind. Die Falte bleibt symmetrisch.

Kegelschnittfalten Lage I, V—VII. Die Faltenachse liegt nicht in der Ebene der Schiebung.

4. Die Schnitte sind Kurven, die bei der Translation ihre Symmetrie verlieren. Damit verliert auch die Falte die Symmetrie parallel zur Faltenachse.

A. Lage I, V—VII. Die Faltenachse liegt nicht in der Ebene der Schiebung.

Als Umkehrung kann man jetzt noch die Frage stellen, ob durch lineare Translation aus einer asymmetrischen Falte eine symmetrische werden kann. Dies kann natürlich nur im Falle 4 stattfinden, also bei Falten, deren Querschnitt kein Kegelschnitt ist, wenn die Faltenachse nicht in einer Ebene liegt, die senkrecht auf die Gleitfläche steht.

Bisher wurden immer nur Vorzeichnungen von flächenhaftem Charakter betrachtet, deren Querschnitte Linien waren. In Wirklichkeit wird es sich aber meistens mehr um körperliche Gebilde handeln, um Schichten von einer anderen Gesteinbeschaffenheit, die, in der übrigen Gesteinsmasse liegend, zu Falten gebogen sind, deren Grenzen sich im Querschnitt als Liniensysteme zeigen, und da handelt es sich darum, festzustellen, wie sich die Dicke oder Mächtigkeit einer solchen Schicht bei der Verschiebung verhält. Es wird hiebei nochmals darauf hingewiesen, daß es sich auch hier nur um die reinen Vorzeichnungen handelt, nicht aber von mechanischen Inhomogenitäten die Rede ist.

Leicht ist die Frage nach der Mächtigkeit zu beantworten, wenn es sich um die mehr oder weniger geradlinig verlaufenden Faltenschenkel handelt. Es verhalten sich die Faltenschenkel in bezug auf die Mächtigkeit bei der Verschiebung ebenso wie die ganze Falte. Wird die Falte verschmälert, so werden auch die Faltenschenkel ausgezogen, wird die Falte verbreitert, so nimmt auch die Mächtigkeit der Schenkel zu, u. zw. in demselben Maße wie der Durchmesser der Falte. Das gilt auch, wenn die Schenkel zur Symmetrieebene geneigt sind. Nimmt also z. B. die Breite einer Falte (deren Durchmesser, gemessen an einer beliebigen Stelle) um die Hälfte zu, so muß auch die Mächtigkeit des Faltenschenkels auf das Anderthalbfache wachsen.

Sobald man aber die Faltenbogen betrachtet, wird die Beantwortung der Frage schwieriger. Zunächst bedarf für unsere Zwecke der Begriff der Mächtigkeit einer genaueren Definition, die ihn genügend eindeutig macht. Gewöhnlich wird unter Mächtigkeit die Entfernung zwischen den beiden Begrenzungsflächen der Schicht verstanden, gemessen senkrecht auf diese. Das läßt sich bei gebogenen Schichten aber nur durchführen, wenn die Bogen konzentrisch sind, denn nur dann kann die Verbindungslinie auf beiden Bogen senkrecht stehen. Das ist aber bei den meisten Falten nicht der Fall. Es lassen sich hier drei Fälle unterscheiden.

1. Die Bogen verlaufen konzentrisch. (Fig. 8 a). Einander gegenüberliegende Bogenstücke haben denselben Krümmungsmittelpunkt, aber verschiedenen großen Krümmungsradius, daher auch verschiedene Krümmung. Entstehung solcher Gebilde ist möglich durch Biegung (Biegefalten) oder als Anwachsstruktur (Sinterbildung), wobei die Wachstumsrichtung auf die Strukturflächen senkrecht steht, oder schließlich durch Diffusion.

2. Die Bogen verlaufen parallel (Fig. 8 b). Einander entsprechende Bogenstücke sind kongruent, haben also dieselbe Krümmung, aber verschiedenen Mittelpunkt. Ihre Entfernung voneinander ist konstant. Hier läßt sich die Mächtigkeit nicht mehr in der oben angegebenen Weise definieren, aber entweder als Verbindungslinie zwischen zwei entsprechenden Kurvenstücken, wobei aber die Richtung angegeben werden muß, auf die sich die Angabe der Mächtigkeit bezieht, z. B. Mächtigkeit in Richtung der Faltenachse  $a$  konstant bei Gleitbrettfalten, vgl. S. 366, oder man nimmt die Verbindungslinie an, die mit beiden Kurven denselben Winkel einschließt, und mißt auf ihr die Mächtigkeit. Entstehung ist möglich durch Translation an parallelen Gleitflächen oder als Anwachsstruktur, wenn die Wachstumsrichtungen einander parallel sind.

3. Der Bogenverlauf ist weder konzentrisch noch parallel (Fig. 8 c). Solche Falten können durch Zusammenwirken der zu 1. und 2. führenden Ursachen entstehen, wie Biegung und Gleitung, oder durch Biegung nichtparalleler Schichten, Massenbewegungen innerhalb der Falte, z. B.

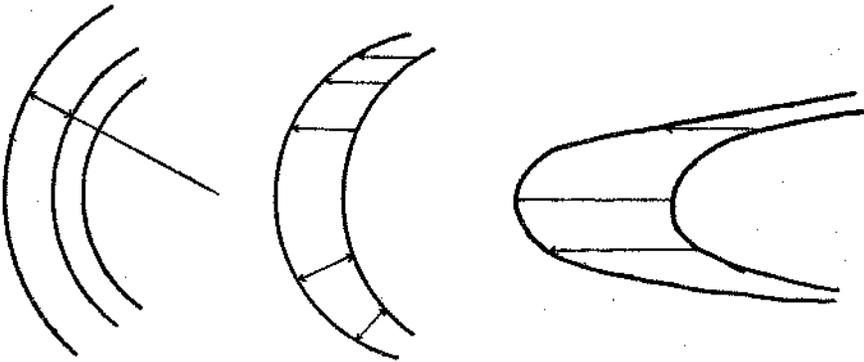


Fig. 8 a, b, c.

Stoffzufuhr in die Faltenstirn. Nicht aber lassen sie sich entweder allein durch Biegung oder nur durch Gleitung erklären, wenn vorher parallele Schichten zugrunde gelegt werden.

### Besonderheiten im Faltenverlauf.

Es werden hier die Veränderungen untersucht, die einzelne Falten- teile besonders in ihren Neigungsverhältnissen gegenüber den Gleitebenen durch die lineare Translation erfahren. Da hier nur Falten untersucht werden, deren Faltenachse senkrecht zur Gleitrichtung steht, genügt es, die durch den Schnitt mit einer Ebene der Schiebung erhaltene Kurve zu betrachten und deren Neigungsverhältnisse gegenüber der Gleitrichtung (die in der  $X$ -Achse liegt) zu untersuchen. Die  $Y$ -Achse ist dann senkrecht dazu in der Ebene der Schiebung (frühere  $Z$ -Achse).

Der Neigungswinkel mit der  $X$ -Achse ist dann mathematisch gegeben durch den Differentialquotienten  $\frac{dy}{dx}$ , ist dieser positiv, so steigt die Kurve

in der Translationsrichtung, umgekehrt wenn  $\frac{dy}{dx}$  negativ ist.

Hat die Kurve die Gleichung  $y = f(x)$ , bzw. deren Umkehrung  $x = \varphi(y)$ , und nach der Translation

$$x = \varphi(y) + s y,$$

so heißt der Differentialquotient

$$- \frac{dx}{dy} = \frac{d\varphi(y)}{dy} + s.$$

Steigt nun die Kurve  $f(x)$ , ist also  $\frac{dy}{dx}$  positiv, so muß auch  $\frac{dx}{dy}$  positiv sein und auch die Kurve  $\varphi(x)$  steigen, es ist also auch  $\frac{d\varphi(y)}{dy}$  positiv. Die translatierte Kurve ist also dann steigend, wenn

$$\frac{dx}{dy} = \frac{d\varphi(y)}{dy} + s > 0.$$

Da auch  $s$  immer positiv ist, steigt daher die Kurve auch nach der Translation, jedoch wird, da durch die Translation  $\frac{dx}{dy}$  infolge des hin-

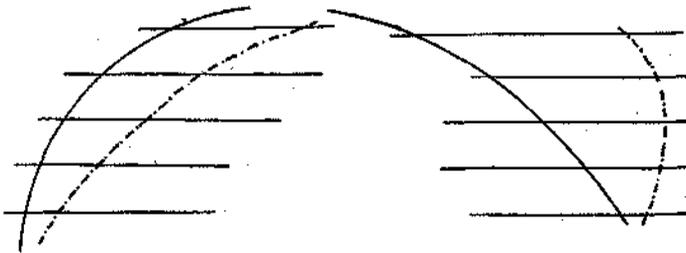


Fig. 9 a, b.

zutretenden positiven Gliedes  $s$  größer wird,  $\frac{dy}{dx}$  kleiner, also das Maß der Steigung gegenüber der Gleitrichtung  $X$  geringer (Fig. 9 a).

Fällt die Kurve hingegen, ist also  $\frac{df}{dx}$  und  $\frac{d\varphi}{dy}$  negativ, so erhält man für die translatierte Kurve

$$\frac{dx}{dy} = s - \frac{d\varphi(y)}{dy} = - \left( \frac{d\varphi(y)}{dy} - s \right)$$

Dieser Ausdruck bleibt negativ, solange  $\frac{d\varphi(y)}{dy} > s$ , wobei jedoch das

Maß des Fallens stärker wird. Erreicht  $s$  den Wert  $\frac{d\varphi(y)}{dy}$ , so wird

$\frac{dx}{dy} = 0$ , die Kurvenrichtung verläuft senkrecht zur  $X$ -Achse. Wird

schließlich  $\frac{d\varphi(y)}{dy} < s$ , so geht das Fallen der Kurve durch die Translation in Steigen über (Fig. 9 b).

Faßt man das nochmals kurz zusammen, so bleibt ein Ansteigen eines Faltenschenkels gegenüber der Gleitebene in der Translationsrichtung bei der Translation erhalten, wird aber verringert; während ein Fallen des Faltenschenkels nur bei genügend kleinem Neigungswinkel, erhalten bleibt, jedoch vergrößert wird. Ist die Neigung jedoch stärker, so wird der Faltenschenkel überkippt. Die Grenzlage, in der er gerade in die zur Gleitebene senkrechte Lage kommt, tritt dann ein, wenn der Neigungswinkel mit der Gleitebene gerade komplementär zum Winkel der Schiebung ist.

Hat die Kurve ein Maximum in irgendeinem Punkte, steigt also vorher mit abnehmendem Steigungsmaß und fällt nachher, so bleibt nachher derselbe Punkt Maximum, denn die Steigung vorher bleibt erhalten, nachher zunächst auch, da  $\frac{dy}{dx}$  vom Betrag 0, den es im Maximum hat, an zunimmt, also zuerst sicher kleiner ist als der endliche Wert  $s$ . Erst wenn  $\frac{dy}{dx}$  den Wert  $s$  erreicht hat, geht das Fallen in Steigen über

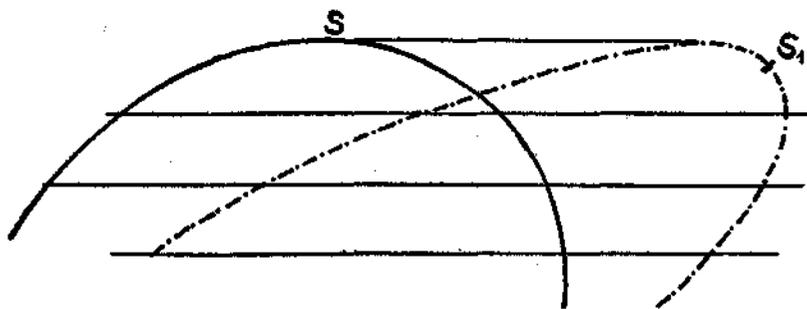


Fig. 10.

(d. h. sie hat einen positiven Neigungswinkel mit  $X$ ), sie bekommt also eine Ausbauchung nach rechts in der Richtung der Translation (Fig. 10).

Für ein Minimum gilt in entsprechender Weise dasselbe.

Hat also eine Falte einen Scheitel, der nach oben oder unten gerichtet ist, so wird dieser in der Richtung der Translation verschoben, also oben nach rechts, unten nach links (siehe auch Parabel Lage I, 2).

Sind Maximum und Minimum der Kurve nach der Seite gerichtet, d. h. die Tangente an die Kurve parallel zur  $Y$ -Achse, so haben wir, wenn die konvexe Seite nach links gerichtet ist oberhalb  $x$  ein nach unten stetig zunehmendes Steigen, bis am Maximum  $\frac{dx}{dy} = 0$  wird.

Nach der Translation bleibt dieser positive Neigungswinkel erhalten, doch wird er verkleinert, so daß wir auch am früheren Maximum eine positive Neigung der Kurve haben und zwar ist sie hier, da in der Gleichung

$$\frac{dx}{dy} = \frac{d\varphi(y)}{dy} + s$$

$\frac{d\varphi(y)}{dy} = 0$  wird, gleich  $s$ , also gleich dem Translationswinkel. Verfolgen

wir die Kurve weiter, so wird sie zunächst, da anfangs  $s$  größer als  $\frac{d\varphi(y)}{d\varphi}$  ist, noch steigen, wenn wieder  $s = \frac{d\varphi(y)}{d\varphi}$ , die senkrechte Lage einnehmen und dann fallen. Das Umgekehrte gilt, wenn die konvexe Seite nach rechts gerichtet ist (Fig. 11).

Es wird also bei einer Falte, deren Scheitel in der Translationsrichtung oder entgegengesetzt liegt, dieser im ersten Falle nach aufwärts, im zweiten Falle nach abwärts gerückt, und zwar um so stärker, je schwächer die Krümmung der Falte am Scheitel ist. Da nun die Falte in dieser Lage durch die Translation immer mehr verschmälert wird (siehe Parabel II, 1), also die Krümmung am Scheitel erhöht wird, so muß sich auch die Verrückung des Scheitels immer langsamer mit fortschreitender Translation gestalten. Eine Grenze ist dem Vorrücken

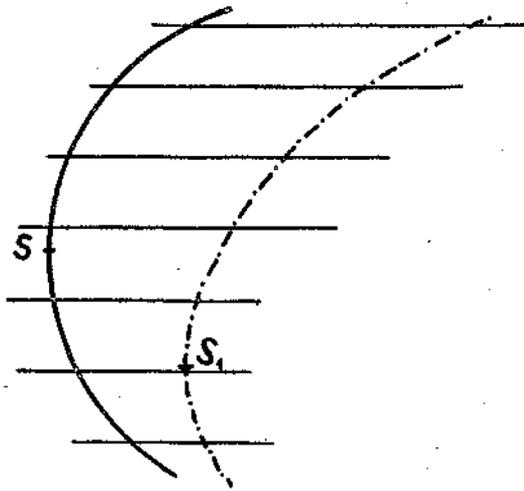


Fig. 11.

des Scheitels dann gesetzt, wenn die Kurventangente an einer Stelle parallel zur  $X$ -Achse verläuft oder die Richtung der Krümmung ändert.

Im letzteren Falle haben wir einen Wendepunkt vor uns. Dieser ist mathematisch gegeben durch das Verschwinden des zweiten Differentialquotienten:

$$\begin{aligned} x &= \varphi(y) + sy, \\ \frac{dx}{dy} &= \frac{d\varphi(y)}{dy} + s, \\ \frac{d^2x}{dy^2} &= \frac{d^2\varphi(y)}{dy^2}. \end{aligned}$$

Die zweite Ableitung der Gleichung der translatierten Kurve ist also gleich der zweiten Ableitung der ursprünglichen Kurve, ein Wendepunkt bleibt also bei der linearen Translation erhalten.

Ein Mittelschenkel ist nun stets mit einem Wendepunkt verbunden, daher kann also ein Mittelschenkel durch lineare Translation nicht verschwinden und umgekehrt nicht entstehen. Es kann daher eine  $S$ -Falte nie durch lineare Translation in eine gewöhnliche einfache Falte übergehen.

## Untersuchungsmethoden.

### I. Untersuchung im schief auffallenden Licht.

Man poliert das ausschließlich oder teilweise aus lichtdurchlässigen Mineralien bestehende Gestein möglichst vollkommen, wobei man sich am besten an den praktischen Unterricht durch einen erfahrenen Steinschleifer hält. Wir haben Herrn Linser dafür zu danken. Es ist aber auch mit den Erfahrungen der Steinindustrie nicht möglich, alle petrographisch interessierenden Gesteine zu polieren. In solchen Fällen ist es von besonderem Wert, daß wir die Zerstreung des Lichtes an der Oberfläche außerdem durch Bedeckung mit einer dem Index möglichst nahestehenden Flüssigkeit, z. B. Glycerin, Monobromnaphthalin usw., verringern. Auf den so vorbereiteten Anschliff kommt ein über der Deckflüssigkeit verschiebbares Deckglas. In dieses sind die der betreffenden Fragestellung dienlichen Koordinaten eingeritzt. Solche sind z. B. ein quadratisches Netz, welches an jeder Stelle die Bezugsrichtungen für die Übersicht sichtbar macht; ein  $60^\circ$ -Netz; oder Polarkoordinaten nach Art der Schleicherschen Papiere, mit welchen man Richtungen, Winkel, Krümmungsradien an jeder Stelle des Anschliffes rasch bestimmen kann.

Das Beleuchtungslicht wird durch eine Linse zu größter Intensität gesammelt, durch einen Kühler gekühlt und zum entscheidenden Unterschiede vom Opakilluminator nicht senkrecht, sondern schief auf das vorbereitete Präparat gerichtet, wobei die mögliche Vergrößerung ihre leicht zu ermittelnden Grenzen hat. Die Beobachtung erfolgt stereoskopisch, in meinem Fall durch einen Stereoskop-Okularaufsatz von Reichert; nachdem man vorher noch die Okulardistanz, bei welcher keine Täuschung in der Tiefenwirkung durch Farben stattfindet, durch ein Hilfspräparat aus einer Lumière-Platte ermittelt hat.

Was wir mit dem Opakilluminator sehen, ist die Oberfläche mit ihren kennzeichnenden Reaktionen auf Schleifung und Ätzung. Dagegen sehen wir mit der vorgeschlagenen Methode, wenn sie gut ausgeführt ist, nichts von der Oberfläche oder nur einen Hauch, der uns nicht hindert, in die Tiefe der durchleuchteten Körner zu sehen. Wir sehen tief in das durch das höchst einfache und naheliegende Verfahren aufgehellte Gestein, das übrigens häufig, so betrachtet, einen gänzlich neuen, schönen und lehrreichen Anblick bietet.

Die besonderen Vorteile dieser Betrachtungsart liegen einmal darin, daß man die leicht herstellbaren großen Anschliffe immerhin in bezug auf das Gefüge schon so genau kennenlernt, daß beispielsweise in den Fällen Fig. 12 und Fig. 17 die Einstellung der Gleitlamellen schon erkannt werden konnte. Unersetzlich durch die Schliffuntersuchung ist die Methode der Aufhellung durch intergranulare und intragranulare Reflexion aber, wo es sich um räumliche Verhältnisse in den Körnern (z. B. um die Fadenporen, siehe Sachregister) oder zwischen den Körnern (Gestalt der Intergranulare) handelt.

Nachdem petrographische Studien im intergranularen reflektierten Licht die von Tammann für Metalle angenommene Porenbildung bei Deformation

mit Translation als eine ganz allgemeine Eigenschaft der Kalzitkörner vorkristallin, nachkristallin oder parakristallin deformierter Tektonite erwiesen hatten, lag das Experiment nahe. Übrigens wies schon Rinne 1903 im N. J. (S. 165) auf die Undurchsichtigkeit, geringe Festigkeit und auf geringeres spezifisches Gewicht der Druckpräparate hin und stellte fest: „Alles dies deutet auf feinste Poren in den Präparaten hin.“ Ich vollzog das Experiment durch Deformation von klaren Kalzitkristallen unter alkoholischer Anilinblaulösung und unter Quecksilber. Ersteres ist vorzuziehen wegen des geringen Kapillarwiderstandes und der Unmöglichkeit, injizierte Poren mit Reflexen zu verwechseln, was bei Quecksilber möglich ist. Letzteres würde eine besonders bequeme Vorschreibung des hydrostatischen Druckes durch eine Quecksilbersäule über der Deformationskammer und damit das Studium des Einflusses dieser Variablen auf den Deformationsmechanismus gestatten.

Die Anilinlösung machte die linearen Porenscharen schön sichtbar, und zugleich liegt damit die schönste und kontrollierbarste Darstellung blockierender Gleitflächen nach Ludwik vor. Am Kalzit treten beim gewöhnlichen Schulexperimente, Pressung  $\perp$  auf  $-\frac{R}{2}$  (unter Farbstofflösung) entweder überhaupt nur linear-stufige, also deutlich blockierte Gleitflächen mit Linearporen auf oder wenigstens weitaus in der Überzahl. Flächenhafte Poren gelangten höchst selten, lineare in jedem Präparat zur Beobachtung. Ferner ist die Verbiegung von Gleitflächen gut zu zeigen.

Auch bei anderen Mineralien ergab die Methode ähnliche Verhältnisse, so daß eine (noch unabgeschlossene) Untersuchung des Deformationsmechanismus von Gesteinsbildnern mit freilich unzulänglichen Mitteln, was Druck und Temperaturvariation anlangt, eingeleitet wurde.

## **II. Ältere Methoden, geregelte Gefüge durch Auslöschung, Addition der Interferenzfarben und Überisotropie der Gefügeschnitte nachzuweisen.**

Diese Methoden sind zur raschen Orientierung über die Verbreitung geregelter Gesteine und zur Aufsuchung neuer Regelungen noch immer brauchbar. So hat sich mir z. B. die weite Verbreitung geregelter Marmore und damit der Wert genauerer Untersuchungen für die Geologie zunächst aus den Schlifften ergeben, welche schon durch annähernd gleichzeitige Auslöschung der Körner die Regelung erkennen ließen. Für die Gefügeanalyse kommen diese Untersuchungen in einer Schlißfläche ohne Drehung nicht in Betracht, wie ich in der ersten Folge gezeigt habe, da mit der betreffenden optischen Reaktion des Kornes (steigende Farben, Auslöschung) die l. c. erörterte Lagenfreiheit vereinbar ist. Welche Sicherheit man durch Verwendung mehrerer Schliffe gewinnt, wurde l. c. und früher miterörtert. Jedoch sind diese Methoden der Gefügeanalyse durch den U-Tisch ebenso überholt wie die frühere Ausgestaltung dieser Methoden durch Schmidt (vgl. Schmidt, T. M. M., 1925).

Auch die Methode, durch rasche Rotation des Schliffes auf dem Rotationstisch die optischen Reaktionen der Einzelkörner zu integrieren, lasse ich derzeit angesichts der in meinem Institut von Schatz untersuchten pseudoisotropen Kornschnitte (Zeitschrift für Kristallographie, 1925) und angesichts der auch bei Schmidt erwähnten Störungen im Additionsphänomen durch Schiefstellung der U-Tisch-Segmente vorläufig noch außer Betracht.

### III. Zur U-Tisch-Methode.

Die wichtigste in dieser Arbeit verwendete Methode ist die räumliche Gefügeanalyse mit dem Berek'schen Universaldrehtisch nach Fedorow, wie ihn die Firma Leitz mit dem von Schmidt vorgeschlagenen Parallelführer für den Schliff herstellt. Schon in der vorigen Folge habe ich darauf hingewiesen (181, 209), daß wir mit dem Drehtisch die sonst für die Analyse nötigen Gefügeschnitte ersetzen und die optischen Achsen auf der Lagenkugel, bzw. deren Projektion, fortlaufend verzeichnen können, wonach vom U-Tisch in Verbindung mit röntgenoptischen Methoden überhaupt erst das eigentliche Verständnis für die Verbreitung und Bedeutung der verschiedenen Gefügetypen zu erwarten ist. Als das Vorteilhafteste erscheint mir heute weniger die Betrachtung des ganzen im U-Tisch verschieden einstellbaren Gefügeschnittes (wenngleich sich auch hiebei sehr schöne Einblicke ergeben, z. B. durch das später an Quarz erörterte Sichtbarwerden von zu Überindividuen zusammentretenden Körnergruppen) als vielmehr die geduldige Verzeichnung von Korn um Korn in der Projektion, wie sie Schmidt (T. M. M., 1925) zuerst ausführte. Im wesentlichen wurde Schmidts Vorgang auch in der Darstellung gefolgt, dessen allgemeine Erörterungen ich neben Berek Mikroskopische Mineralbestimmung usw., Berlin, Borntraeger, 1924, hier voraussetze, wenn ich einiges beifüge. Hiezu das flächentreue Gradnetz Fig. 30 für alle Diagramme.

#### Bezifferung des Gradnetzes.

Man überlegt zunächst, welche Richtung des betreffenden Minerals man verzeichnen will. Man stellt diese Richtung Korn für Korn ein, indem man den Schliff mit dem Parallelführer verschiebt.

Wir denken uns zuerst den Schliff in unsere Lagenkugel, auf der wir die interessierenden Pole verzeichnen wollen, Schliff und Lagenkugel fest miteinander verbunden, was man am besten auch durch die richtige Einzeichnung des Schliffes auf der Projektion der Lagenkugel ein für allemal zum Ausdruck bringt. Auf der Oberfläche der Lagenkugel bewegen wir uns, Meridianen und Breitenkreisen folgend, mit unserem radial gerichteten Mikroskoptubus. Wir messen unsere Wege und machen halt, sobald Tubusachse und  $c$ -Achse des Kornes zusammenfallen, und verzeichnen diesen Durchstoßungspunkt der Kornachse (nunmehr richtungsgleich der Tubusachse) auf der Lagenkugel. Die Messung der Wege und die Verzeichnung des „Polpunktes“ erfolgt in Wirklichkeit nicht auf der Lagenkugel, sondern in deren nach Bedarf winkeltreuer oder flächentreuer Projektion, z. B. nach dem

Vorgänge Schmidts mit der Annahme, daß die untere Hälfte der Lagenkugel projiziert ist, was für unsere Zwecke genügt. Bei dieser ersten Veranschaulichung wurde also das System Lagenkugel + Schliff fest, der Tubus bewegt gedacht. Im faktischen Vorgang ist der Tubus fest, der Schliff wird bewegt, die Projektion liegt fest. Der Schliff wird mit den Achsen des U-Tisches an deren Teilkreisen in Graden meßbar bewegt. Im Vergleich zu unserer Fiktion, daß Schliff + Lagenkugel fest bleibt oder auch, daß Schliff + Lagenkugel dem festen Tubus gegenüber bewegt wird, entsteht damit eine etwas geringere Übersichtlichkeit, welcher gegenüber man vor Beginn seiner Arbeiten Herr werden muß. Man gibt dem U-Tisch die Ausgangsstellung. Betätigt man nun eine Vertikalachse, so wandert der Index des Schliffes auf dem betreffenden horizontalen Teilkreis. Diesetbe Drehung nimmt man mit dem auf die Oleate über dem Gradnetz gezeichneten Schliffbild vor und erteilt dem Teilkreis des Gradnetzes dieselbe Bezifferung, welche der verwendete horizontale Tischkreis hat. Nun denkt man sich eine Ebene  $E$  schief zum Schliff und auf  $E$  ein Lot errichtet und betätigt eine Horizontalachse, z. B.  $A_2$ . Dabei beschreitet die Schliffebene die Winkelskala zu  $A_2$ . Man hat nun zu beachten, wo das auf  $E$  errichtete Lot mit seinem Polpunkt die (projizierte) untere Hälfte der Lagenkugel beschreitet, während sich die Schliffebene auf der Winkelskala zu  $A_2$  bei  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$  usw. befindet. Man wird finden, daß man den Weg des Lots (= Pol von Ebene  $E$ ) auf dem Äquator der Projektion zentripetal mit  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$  usw. zu markieren hat. Die Ebene  $E$  ist z. B. bei der Einmessung der optischen Achse Einachsiger aus der Äquatorstellung die Äquatorialebene der Skiodromenkugel, der Flächenpol dieser Ebene eben die optische Achse. Besonders häufig aber ist die Ebene  $E$  eine Zwillingslamelle oder sonst eine bekannte Spaltbarkeits- oder Translationsebene usw., deren Lot man auf der Lagenkugel verzeichnet.

Erfolgt die Einstellung dieser Ebene  $E$  mit Betätigung von  $A_4$  und demnach die Eintragung ihres Poles auf der N-S-Richtung des Gradnetzes, so findet man in gleicher Weise die Skala für die Eintragung. Stellt man nicht eine Ebene ein und verzeichnet ihren Pol, sondern direkt das Lot, dessen Pol man verzeichnet, so ergibt sich eine andere Bezifferung der Skala nach dem Grundsatz: Auf der projizierten Skala müssen für jedes gewählte Verfahren die Zahlen genau den Ablesungen auf den betätigten Teilkreisen der Apparatur entsprechen.

Als Beispiel seien hier die Skalen für die in dieser Arbeit verwendeten Einmeßverfahren angeführt, welche für einen U-Tisch mit der in Berek's Buch vorausgesetzten Teilkreisbezifferung gelten:

1. Direkte Einmessung einer Geraden des Kristalls, z. B. der optischen Achse, erfolgte durch  $A_4$ , die Verzeichnung des Poles nach N—S des Gradnetzes mit der Bezifferung

N—9, 8, 7 . . . 3, 2, 1, 0 (oder 36), 35, 34 . . . 28, 27—S.

2. Einmessung einer Ebene  $E$  erfolgte in verschiedenen Fällen:

a) Einmessung der Äquatorebene des Kristalls durch  $A_2$  und Verzeichnung ihres Poles (= optische Achse) auf W—O des Gradnetzes

(Schmidts Einmessung der optischen Achse aus der Äquatorstellung) mit der Bezifferung

W—10, 20, 30 . . . 70, 80, 90, 80, 70 . . . 30, 20, 10—O

und mit Korrekturen für Kalzit =  $\varepsilon$  gegenüber dem Segment =  $\omega$ .

b) Einmessung von Kalzitwillingslamellen durch Einstellung ihrer Spur in W—O (bei N—S schwingendem Polarisator), Betätigung von  $A_4$  und Verzeichnung des Poles auf N—S des Gradnetzes mit der Bezifferung

N—0, 35, 34, 33 . . . 28, 27 oder 9, 8, 7 . . . 3, 2, 1, 0—S.

c) Einmessung der „Achsenebene“ von Kalzitwillingen (= Ebene, in welcher beide Achsen des Zwillingen liegen).

Man stellt die Lamellenspur im Schlitze durch  $A_1$  nordsüdlich ein und dreht die Oleate gleichsinnig mit.

Dann stellt man die Lamellenfläche durch  $A_2$  in die Sagittalebene des Beobachters. Damit die Lamelle genügend sichtbar ist, muß mit  $A_3$  so gestellt werden, daß der Polarisator hierbei  $\perp$  zur Lamellenspur schwingt. (Nun kann der Lamellenpol auf einer zweiten Oleate oder mit anderer Farbe notiert werden.) Man dreht um  $A_4$  bis zur nächsten Auslöschung beider Lamellen. Die Achsenebene ist dann genau frontal eingestellt, und ihr Pol kann notiert werden auf der Skala

N—36, 35, 34 . . . 28, 27 oder 9, 8, 7 . . . 3, 2, 1, 0—S.

Eine Korrektur dieser Skala entfällt, wenn das Segment mit dem Index  $\omega$  verwendet wird, da ja  $\omega$  beobachtet wird. Die Skalenbezeichnung für die Eintragung ist also dieselbe wie für Lamellen. Da jedoch bei der Betätigung von  $A_4$  der Schlitze bereits in der Horizontalen gedreht und auch schon um  $A_2$  geneigt vorliegt, so ist  $\alpha_4$  nicht auf der N-S-Geraden des Gradnetzes, sondern gleichsinnig auf einem Meridiane abzutragen, welcher vom Polpunkt der Lamelle  $90^\circ$  Abstand hat.

### Korrigierte Skalen.

Bei Mineralien mit höherer Doppelbrechung, also z. B. gerade bei dem hier behandelten Kalzit, ist es nötig, sich bei jedem Verfahren, ob man nun die Achse direkt oder den Äquator der Skiodromenkugel oder eine Translationslamelle einstellt, jedesmal klarzumachen, ob man  $\omega$  oder  $\varepsilon'$ , bzw.  $\varepsilon$  beobachtet. Denn da man seine Segmente nur entweder gleich  $\omega$  oder gleich  $\varepsilon$  oder allenfalls, für manche Zwecke ausreichend, gleich dem mittleren Index wählen, während der Manipulation aber nicht wechseln kann, ist man unter Umständen zu Korrekturen nach dem Berekschen darauf bezüglichen Nomogramm gezwungen, welche man gleich auf dem betreffenden Maßstab der Projektion, etwa durch eine anders gefärbte Teilung gebrauchsfertig macht. Um solche Umstände zu beurteilen, ist es nötig, jeweils die Schwingungsrichtungen seiner Apparatur und die im Kristalle, letzteres etwa am besten mit Hilfe einer Skiodromenkugel, zu berücksichtigen, wie es denn überhaupt für diese Methode unerläßlich ist, über die Bewegungen des Kristalls und seiner Schwingungsrichtungen fortlaufend lückenlos im Bilde zu bleiben. Man arbeitet sich da in jedes Mineral ein. So ist z. B. bei Kalzit gerade die starke Doppelbrechung hierin sehr leitend, da man alle Kornbewegungen, mit welchen

man einen gegen  $\omega$  steigenden Indexwert zu Worte bringt, an dem sich verstärkenden Relief des Kornes alsbald erkennen lernt. Bei meiner Aufstellung erfolgte die Polarisatorschwingung N—S. Bei der Bestimmung der Achse durch Einstellung der auf ihr senkrechten Äquatorebene der Skiodromenkugel in die Sagittalebene des Beobachters (Äquatorstellung Schmidts) erfolgt, solange diese Einstellung (durch Berek's  $A_2$ -Achse) noch unvollkommen ist, Aufhellung bei Betätigung von  $A_4$ . Bei dieser Aufhellung, deren Verschwinden das Kriterium für richtige Einstellung ist, gelangt durch den O—W schwingenden Analysator im wesentlichen O—W schwingendes Licht des Kristalls zur Beobachtung. Diesem kommt der Index nahe  $\epsilon$  zu. Es wurden also auf der O—W orientierten Äquatorachse der Projektion für alle Winkelwerte die Korrekturen für die Indexabweichung zwischen Segment ( $= \omega = 1.6585$ ) und  $\epsilon$  ( $= 1.4869$ ) eingetragen und bei Messungen in Äquatorstellung benutzt.

Durch Doppelmessungen an den zahlreichen Körnern, welche sowohl aus der „Achsenstellung“ als aus der „Äquatorstellung“ die Achsenlage bestimmen lassen, ergab sich in einem Falle, daß durch die erwähnte Korrektur die mittlere Abweichung beider Bestimmungen voneinander von  $9.7^\circ$  auf  $5.3^\circ$  herunterging.

Es ist hier hervorzuheben, daß es die durch das Nomogramm Berek's nur zum Teil ausschaltbare, weitaus bedenklichste Fehlerquelle des U-Tisches ist, welche durch den Indexunterschied zwischen Segment und dem im beobachteten Index so oft wechselnden Mineral zustande kommt; daß aber diese Fehlerquelle dem meines Erachtens eigentlichsten Berufe des U-Tisches zur Gefügeanalyse weit weniger schaden kann als den Untersuchungen am Einzelkorn, da ja die Fehler bei der Gefügeanalyse eine kleine Streuung der Besetzung verursachen, nicht aber die interessierenden Beziehungen verdecken. Gerade die vorliegenden Untersuchungen von Gefügen aus Kalzit, einem schon wegen seiner hohen Doppelbrechung, wegen seiner mechanischen Empfindlichkeit und wegen der Schwierigkeit seiner Orientierung aus der Äquatorstellung unbequemen Mineral, erweisen das. In der Äquatorstellung gestattet der Kalzit beträchtliche Drehungen um  $A_2$ , ohne bei Betätigung von der die Einstellung kontrollierenden  $A_4$  aufzuhellen, so daß man eine Mittelung der beiden noch dunkelbleibenden Extremlagen anstreben muß.

Verzeichnet man Lamellen des Kalzits, so hat man deren Aufsuchung um keine zu übersehen, im quer zur Lamellenspur schwingenden Lichte vorzunehmen, da sonst in beiden Teilindividuen des Kalzitzwillings derselbe Indexwert  $\omega$  zu Worte kommt und die Lamellen dadurch unsichtbar werden können.

Jedoch sind derartige und weitere Details der Untersuchungspraxis nur im Praktikum genügend anschaulich mitzuteilen.

### Flächenpol(oder Lamellen)diagramme.

Im allgemeinen wird es wichtiger sein, irgendwelche Gitterebenen des Kristalls einzumessen, als optische Daten. Die Gitterebenen interessieren für alle absehbaren Fragen, welche der U-Tisch bezüglich aktiver und passiver Regelungen sowie bezüglich des Einzelkorns zu lösen hat,

viel direkter als seine optischen Daten. Namentlich zum Festigkeitsverhalten des Kristalls stehen letztere in loser Beziehung, wie dies in der letzten Folge dieser Studien erörtert wurde, und ganz besonders gilt dies von Zweiachsigen. Da überdies die optische Orientierung der Zweiachsigen derzeit weit zeitraubender ist als die Einmessung von Kristallflächen (z. B. der Prismen bei Hornblenden oder der Glimmerendfläche usw.), ist es ein sehr glücklicher Umstand, daß letztere so gute Einblicke gibt und bei geschickter fallweiser Anpassung eine Orientierung des Kristalles in bezug auf alles, was uns für den jeweiligen Fall am Kristall eben interessiert. Wie in dieser Arbeit gezeigt wird (vgl. Fig. 24, 25, 26), ist es bisweilen sehr vorteilhaft, beide Einmessungen (optische Achsen und Lamellen) vorzunehmen; sie führen unter anderem weiter als eine allein und sie kontrollieren einander. Am Beispiel des Kalzits kann man sich einiges Methodische klarmachen.

Man kann zunächst alle Zwillingslamellen einmessen, deren man habhaft wird, wenigstens eine, aber auch zwei bis drei pro Korn. Das ergibt nicht nur einen Einblick in den Translationsmechanismus des Gesteins, sondern auch einen Einblick in die Kornlage. Das Diagramm sagt uns:

1. Bei der letzten Deformation des Gesteins wurden nur Translationslamellen benutzt, deren Pole in das Maximum fallen; also Lamellen, welche beispielsweise von  $s$  maximal nur um den Winkel  $\alpha$  abweichen.

2. Es gibt im Gestein nur Körner, welche mindestens eine Fläche  $-\frac{R}{2}$  ungefähr in  $s$  eingeregelt haben, wobei  $\sphericalangle \alpha$  dieses „ungefähr“ definiert. Es gibt also im Gestein kein Korn, dessen  $c$ -Achse mehr als um den Winkel  $c | -\frac{R}{2}$  ( $= 26^\circ$ ) aus dem Maximum der Lamellenpole abweicht.

Oder man kann von vornherein  $s$  als Bezugsfläche ins Auge fassen und von jedem Korn nur eine Lamelle, und zwar die mit dem kleinsten Winkel von  $s$  abweichende, einmessen. Dann sagt das Diagramm:

In jedem Korn hat eine Gleitlamelle funktioniert, welche höchstens um den  $\sphericalangle \varphi$  von  $s$  abweicht. Jedes Korn hat eine Fläche  $-\frac{R}{2}$  mit wenigstens der Genauigkeit  $\sphericalangle \varphi$  in  $s$  eingestellt; wonach ebenfalls wieder die  $c$ -Achse nur um  $26^\circ$  vom Lamellenpol entfernt liegen kann.

Wir betrachten nun zwei Fälle:

1. Halte ich den Pol einer von den drei Flächen  $-\frac{R}{2}$  fest, so halte ich damit eine Gleitfläche des Kalzits fest und lasse seine Achse auf einem Kreise  $26^\circ$  um den festgehaltenen Flächenpol unbestimmt.

2. Halte ich die  $c$ -Achse eines Kornes fest, so bleiben alle seine drei Flächenpole der Form  $-\frac{R}{2}$  auf einem Kreise von  $26^\circ$  rings um die  $c$ -Achse unbestimmt.

Ich erfahre also im zweiten Falle von keiner Fläche des Kalzits außer von der für den Mechanismus der Korndeformation uninteressanten (0001) ihre Lage; im ersten Falle aber erfahre ich die Lage einer der

für den Mechanismus der Korndeformation entscheidenden, untereinander gleichwertigen Flächen  $\{10\bar{1}2\}$ .

Man ist also durch den ersten Vorgang beim Studium eines mechanisch deformierten Kalzitgefüges durch für das Festigkeitsverhalten und damit für die passive Gefügeregelung direkt interessierende Daten unterrichtet und also besser bedient. Die Frage nach der passiven Regelung eines Kalzitgefüges lautet eben zunächst geradezu: Wie liegen die mechanisch entscheidenden

$-\frac{R}{2}$ -Flächen der Körner? Nicht aber: Wie liegen die  $c$ -Achsen? Erst die Ebene, in welcher beiderlei  $c$ -Achsen eines lamellierten Kornes liegen, ist wieder von Interesse, da ihr Schnitt mit  $-\frac{R}{2}$  ja die Schiebungsrichtung darstellt.

Ähnliche Überlegungen sollen der U-Tisch-Analyse von Gefügen aus Mineralen mit bekanntem Deformationsmechanismus jeweils vorausgehen.

### Zwillinge.

Noch eine andere Überlegung von allgemeinerem Interesse läßt sich besonders gut an Kalzit anschließen. Wir finden die Körner verzwilligt, und nun fragt es sich, welchen Einfluß die Tatsache der Zwillingsbildung auf das Diagramm hat, etwa je nach dem wir an jedem Korn beide Teilindividuen oder nur eines einmessen.

Wenn man von jedem verzwilligten Korn immer nur irgendein einziges Teilindividuum (mit seiner Achse) einmißt, so hat die Tatsache der Verzwilligung keinen Einfluß auf die Besetzung der Lagenkugel, und es bleibt ohne Einfluß auf die Besetzung der Lagenkugel, welches Teilindividuum man wählt.

Man wird (bei Kalzit) meist automatisch das ursprüngliche Individuum als das besser erhaltene zur Achseneinmessung wählen; es kommen jedoch noch Fälle vor, in welchen es unsicher ist, ob man die Achse einer sekundären Lamelle eines Kornes einmißt. Da ist es wichtig, daß jeder von einem Punkte innerhalb eines Achsenmaximums  $127^\circ$ , bzw.  $52^\circ$  entfernte Achsenpol als ein derartiger sekundärer Pol aufgefaßt werden kann, d. h. bei einer beträchtlicheren Größe des Maximums überhaupt jeder außerhalb des Maximums liegende Achsenpol. Es könnte ferner das eine Maximum, wenn sein Schwerpunkt um  $127^\circ$ , bzw.  $52^\circ$  von dem des anderen absteht, als reelles sekundäres Maximum von Zwillingslamellen zunächst aufgefaßt werden. Dies wird dadurch ausgeschlossen, daß von jedem lamellierten Korn nur 1 Teilindividuum vermessen und dies auf dem Diagramm angemerkt wird.

Durch sorgfältige Messungen der Achsen für beide Individuen lamellierter Körner ist es möglich, zu sehen, ob die „Achsenebene“, in welcher beide Achsen des lamellierten Kornes liegen, für die Körner eines Gefüges zusammenfallen. Da in dieser Achsenebene die Gleitrichtung für das Einzelkorn und im Falle des Zusammenfallens abnormal vieler Achsenebenen auch für das Gefüge liegt, ist auf diese Weise nicht nur die Scherfläche des Gesteins, sondern dessen Translationsrichtung nachweisbar, sogar wenn sich mehrere Translationsrichtungen in derselben Scher-

flächenschar ablösen. Stellt man z.B. wie in Fig. 24, 25, 26 die  $s$ -Fläche eines Kalzitgefüges in den Äquator des Diagramms, so besetzen im Falle der Regel  $-\frac{R}{2}=s$  die Achsenpole der Körner zwei Außenzonen um den

Nord- und Südpol. Haben diese Zonen wieder ein meridionales Maximum, so weist dieses auf eine Bewegungsrichtung in den Schnittgeraden zwischen letzterem und  $s$ . Ein solches Diagramm eines Gefüges kann sich (vgl. Fig. 24, 25, 26) mehr und mehr der Darstellung eines einzigen Kalzit-zwillings nähern, zu welchem sich eben die Gefügekörner mehr oder weniger vollkommen überlagernd zusammensetzen. Das geregelte Gestein ist eben im Hinblick auf Kalzit ein bestimmt orientierter Fastkristall, wie dies schon in Folge I dieser Studien allgemein erörtert wurde.

### Teildiagramme.

Es ist von besonderer Wichtigkeit, die Art und Weise, wie sich ein Diagramm mit Polpunkten füllt, zu beachten und fortlaufend zu notieren. Im allgemeinen geschieht dies nach dem Grundsatz: Es ist leicht, ein Punktdiagramm aus beliebig vielen Teildiagrammen überlagernd zusammensetzen, aber unmöglich ist es, ein Diagramm nachträglich in Teildiagramme zu zerlegen.

1. Man wird also, sofern eine Möglichkeit besteht zu bezweifeln, ob der eingemessene Gefügebereich überhaupt homogen-anisotrop sei, entweder die Punktsignale auf seiner Oleate, etwa durch verschiedene Farbe, rasch wechseln und mit der betreffenden Farbe den Gefügebereich im skizzierten Schliffbild auf der Oleate markieren, oder man wird neue Oleaten nehmen. Und man wird zuletzt die verschiedenen Punkte, bzw. Oleaten nur insoweit zu einem Gesamtbild für den ganzen Bereich zusammensetzen dürfen, als der Typus der Regelung auf den Teildiagrammen derselbe geblieben ist. Nur durch ein derartiges Vorgehen, dessen Wiedergabe in den Textfiguren natürlich zu teuer gekommen wäre, war es in der vorliegenden Arbeit möglich, die betreffenden Falten als in bezug auf das und jenes Mineral homogen geregelte sicher nachzuweisen. Die Figuren geben summierte Diagramme über einen in der Schliffskizze ersichtlich gemachten Gefügebereich, welcher, wie besagt, geprüft wurde (als Beispiel zweier Teildiagramme durch verschiedene Signale vgl. Fig. 14).

2. Man kann ferner in der Gliederung seiner Diagramme in Teildiagramme die Kornart einer Mineralart berücksichtigen, und man muß es, sobald man deutlich nachkristallin deformierte Körner neben rekristallisierten, also z.B. innerhalb einer einzigen Mineralart zwei zeitliche Generationen des Kornhabituses, etwa ältere lamellierte Körner und jüngere, bereits rekristallisierte, mechanisch unversehrte unterscheiden kann, wie dies Fräulein Elfriede Felkel in meinem Institut an Marmoren durchführt. Macht man diese Unterscheidung nicht, so überlagern sich genetisch verschiedene Regelungsprinzipien unter Umständen bis zur Unkenntlichkeit jeder Regelung, und jedenfalls, ohne daß man die Möglichkeit hat, den Einfluß dieser Prinzipien so klar zu erkennen wie beim Arbeiten mit Teildiagrammen.

3. Ganz gleiches gilt von Körnern derselben Mineralart, aber verschiedener Umgebung. Mechanisch z. B. bedeuten verschiedene Nachbarn zugleich verschiedene Beanspruchung (wie in Folge II bereits allgemein erörtert), also unter Umständen verschiedenen Mechanismus der Korndeformation und damit schon verschiedene passive Regelung. Den von solchen Einsichten aus zu erwartenden Erfolg hatte es z. B., wenn in dieser Arbeit Quarz in Quarz von Quarz in Kalzit durch verschiedene Diagramme getrennt wurden (vgl. Fig. 22, 23, 27, 28).

### Körnerzahl; konstruktive Rotation der Diagramme.

Was die Anzahl der für ein Diagramm nötigen Körner anlangt, so wurden Zahlen bis über 600, im allgemeinen 400—600, vermessen. Sie schienen nötig im Hinblick darauf, daß sich manches unterbrochene Gürtelmaximum ungleich besetzte und erst bei höheren Zahlen überhaupt schloß. Die Erkennung von überbesetzten Großkreisen der Lagenkugel und namentlich die Bestimmung des von ihnen eingeschlossenen Winkels bedarf höherer Kornzahlen und entsprechend enger Staffelung der statistischen Ausmessung. Man füllt das Diagramm so lange bis man es — zu verstehen glaubt oder noch länger.

Die Erkennung von überbesetzten Großkreisen erfolgt, indem man das auf die Oleate gezeichnete, statistisch ausgemessene Diagramm auf dem Gradnetz mit gemeinsamem Zentrum rotiert. Dem Leser dieser Arbeit ist diese Operation und damit das selbständige Studium der Diagramme einschließlich konstruktiver Rotation derselben durch Beigabe eines auf eine Oleate abzupausenden Gradnetzes für die von Schmidt vorgeschlagene flächentreu azimutale Projektion der Lagenkugel ermöglicht und damit auch vorsätzlich anheim gestellt, eine etwas andere Lage der Gürtelmaxima anzunehmen, da hierin trotz der hohen Kornzahlen noch ein gewisses Schwanken besteht, welches auch die Winkel der Gürtelmaxima und eventuelle Schlüsse auf Zwillinglagen usf. mitbetrifft.

Die konstruktive Rotation eines Diagrammes erfolgt leicht um die Äquatorachse des Gradnetzes, indem man auf den Kleinkreisen Punkt für Punkt des zu rotierenden Diagramms (umrißweise) um den gleichen gewünschten Winkel in der gleichen gewünschten Richtung verschiebt. Überschreitet man bei einer solchen Verschiebung den Grundkreis des Gradnetzes z. B. oben rechts, so betritt man ihn wieder auf dem spiegelbildlichen Kleinkreis, z. B. in unserem Falle unten links, um den noch fehlenden Winkelbetrag abzutragen. Die räumliche Vorstellung der festgehaltenen Lagenkugel und ihrer projizierten unteren Hälfte, auf welcher Lagenkugel man seine Zeichnung um die N-S-Achse rotierend verschiebt, macht das Gesagte evident und schließt jeden Irrtum aus.

Hat man ein Diagramm (*A*) um den  $\angle \varphi$  rotiert (*Ak*) und besitzt ein unabhängig davon gewonnenes Aufnahmsdiagramm (*B*) eines reellen zum ersten Schriff *A* um  $\angle \varphi$  geneigten Schliffes, so kann man *Ak* mit *B* vergleichen. Decken sich beide, so ist das Gefüge im räumlichen Bereiche, den die beiden reellen Schliffe *A* und *B* erfüllen, homogen geregelt. Wo nicht, so ist eben der Schriff *B* schon aus einer Stelle des Gebildes entnommen, für welche nicht mehr dieselbe Regelung gilt wie

für A. Für beide Fälle sind Beispiele durch Fig. 36 und Fig. 37 gegeben.

Wir besitzen damit nicht nur eine Möglichkeit, unsere empirischen Diagramme zu überprüfen, sondern auch ein Mittel, die Stellen eines Gefüges mit Ersparung an Schleif- und U-Tisch-Arbeit daraufhin zu prüfen, ob sie einem homogen geregelten Bereiche angehören. So erwies sich auf diesem Wege ein enggefalteter Quarzgang im Quarzphylit als ein nicht homogen geregeltes Gebilde, sozusagen trotz der Feinkörnigkeit als ein Haufwerk von bei verschiedener Einspannung nebeneinander erfolgten „Einkristall“-deformationen von großen Gangquarzen, deren jeder in sein geregeltes Gitteraggregat überführt wurde.

### **Einzelkorn und Nachbarn; Überindividuen. Mittlere Lagendivergenz der Körner.**

In manchen Fällen kann man durch Bezifferung die Reihenfolge gemessener Körner angeben (so z. B. bei der Einmessung eines undulösen Quarzes mit Teilindividuen) und so Paare von Individuen, welche sich berühren, von anderen Paaren unterscheiden, was wieder in vielen Fällen, z. B. für Fragen der Rekristallisation, interessiert. Wenn man sich fragt, ob der Lagenunterschied (als Divergenz der Bezugsrichtungen) zwischen benachbarten und nichtbenachbarten Körnern eines geregelten Gefüges im Mittel abweiche, ob sich durch Messung feinere, genetisch wichtige Inhomogenitäten feststellen oder deutliche Überindividuen herausheben lassen, so muß man die Übersicht behalten, welche Pole im Diagramm zu Nachbarkörnern gehören. Man darf also nicht das Gefüge zeilenweise, sozusagen blindlings, durchmessen wie zur Aufstellung des statistischen Diagramms mit Vernachlässigung derartiger feinerer Inhomogenitäten oder „Gefügeelemente höherer Ordnung“ als das Korn (T. M. M. 1911).

Das erste Mittel zur Hervorhebung solcher aus vielen sich berührenden Körnern mit einer unterdurchschnittlichen Lagendivergenz bestehenden Überindividuen ist folgendes. Man wählt beispielsweise bei Quarz die Lichtquelle so, daß ein mit der Achse || Tubus gestelltes Korn aus dieser Lage um einen anzumerkenden Winkel, z. B.  $7^\circ$ , herauspendeln kann, ohne schon den Charakter eines bei Rotation dunkel bleibenden isotropen Schnittes zu verlieren. Man wird bei Benützung des Drehtisches in manchen Gefügen (vgl. Fig. 34) alsbald solche Überindividuen hervortreten sehen, welche oft viele Dutzende von Körnern enthalten und sich in einer beliebigen Lage des Gefügeschnitts durch nichts verraten, so daß auch für die Feststellung solcher Überindividuen der U-Tisch und nicht das gewöhnliche Mikroskop das richtige Instrument ist, da man eben mit dem U-Tisch aus einem Gefügeschnitt genügend viele macht und derartige Gefügemerkmale nur in einem derselben hervortreten.

Um sich zu vergewissern, daß man reelle Überindividuen optisch herausgehoben hat, nicht etwa nur durch die maximale Achsendivergenz ( $14^\circ$  in unserem Beispiele) zufällig umgrenzte Flächen, ist es nun nötig, alle das Überindividuum berührenden Nachbarkörner der gleichen Mineralart einzumessen und deren Achsendivergenz zum Überindividuum mit

der innerhalb desselben herrschenden (maximal  $14^\circ$ ) zu vergleichen (vgl. Fig. 35). Ist die mittlere Achsendivergenz zwischen Überindividuum und Nachbarn größer als zwischen den Körnern des Überindividuums, so ist dieses als reelles Gefügeelement nachgewiesen und durch die Differenz gekennzeichnet.

Nicht alle Überindividuen sind auf diese einfache Weise zunächst im U-Tisch sichtbar zu machen, dann einzumessen. So wurden in einem später beschriebenen Kalzitgefüge einzelne größere Körner herausgegriffen und mit ihren Nachbarn eingemessen. Ich bildete sodann alle überhaupt in der willkürlich herausgegriffenen Körnergruppe möglichen Körnerpaare, bemerkte hiezu, ob sie sich berührten oder nicht und ihre Achsendivergenz. Die mittlere Achsendivergenz der Nachbarkörner wurde so mit der mittleren Achsendivergenz der Nichtnachbarkörner vergleichbar und es ergab sich als recht kennzeichnendes Merkmal des Gefüges der geringere Wert der ersteren: Nachbarkörner zeigten geringere Achsendivergenz; wie mir dies in rekristallisierten Gefügen zu erwarten schien. In welcher Weise man noch genauer in derartige Vergleiche eingehen kann, ist im Beispiele VI. (Tribulaun) nachzulesen.

Bei derartigen Untersuchungen ergab sich das Bedürfnis, an beliebiger Stelle eines Gefüges mit bekannter Regelung feststellen zu können, ob charakteristische Abweichungen von dem durch diese Regelung bedingten Mittelwerte der Lagendivergenz vorliegen. Diese Mittelwerte der Lagendivergenz zwischen den Körnern gehören geradezu zur Kennzeichnung der Regelung. Ihre Feststellung durch die betreffende Integration hat Herr Dr. Schmidegg für die Regel  $-\frac{R}{2} \parallel s$  ausgeführt, wobei einmal

die Divergenz der  $c$ -Achsen, einmal die der Lote auf  $-\frac{R}{2}$  betrachtet wurde.

Da Herrn Schmideggs Beitrag nicht nur die bereits nachgewiesene Regelung  $-\frac{R}{2} \parallel s$  kennzeichnen hilft, sondern auch als Beispiel für die Behandlung ähnlicher Fälle dient, folgt er unten wörtlich.

Schließlich kann man weit einwandfreier mit dem U-Tisch als mit dem gewöhnlichen Mikroskop beurteilen, was ein einziges (eventuell hinter der Schlieffläche zusammenhängendes) Korn im Gefüge ist, da man wenigstens die optische Gleichrichtung benachbarter, aber durch Risse getrennter oder auch nichtbenachbarter Körner eindeutig feststellt, während man ohne U-Tisch oft auf die schon hinsichtlich der optischen Orientierung mehrdeutige gleichzeitige Auslöschung und Farbenreaktion angewiesen ist. Auch bei genau gleichzeitiger Auslöschung von Nachbarkörnern, welche dann wohl jedermann als ein Individuum zu nehmen pflegte, ergab mir der U-Tisch unselten, daß zwei Individuen unter Umständen mit beträchtlicher Lagendivergenz vorlagen. So daß man wohl sagen kann, daß ohne U-Tisch das Gefügebild nicht nur weit vieldeutiger, sondern bisweilen sogar etwas gefälscht erscheint, wofür ich ja auch schon seinerzeit (I. Folge) durch den Hinweis auf die Lagefreiheit bei gemeinsamem Steigen und Fallen der Farben ein anderes grundsätzliches Beispiel gegeben habe.

**Bestimmung der mittleren Achsendivergenz und Lotdivergenz für die Regel  $-\frac{R}{2} \parallel s$  bei Kalzit (O. Schmidegg).**

1. Mittlere Achsendivergenz.

Kalzitkörner sind mit einer Fläche  $-\frac{R}{2}$  in eine Ebene eingestellt. Es ist der mittlere Abstand zweier optischer Achsen, die mittlere Achsendivergenz zu bestimmen ( $\delta_m$ ). Der Winkel zwischen dem Lot auf  $-\frac{R}{2}$  und der optischen Achse beträgt:  $\varphi = 26^\circ 15'$ .

Die optischen Achsen liegen dann auf einem Kegelmantel, dessen Achse durch das Lot auf  $-\frac{R}{2}$  gebildet wird und dessen Öffnungs-

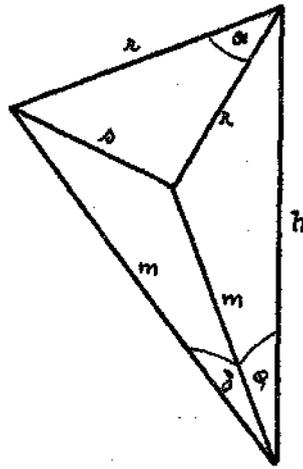


Fig. 12.

winkel  $2\varphi$  ist. Die mittlere Achsendivergenz ist daher durch den Mittelwert der Winkel zweier Erzeugender gegeben. Dieser Winkel, die Achsendivergenz, sei mit  $\delta$  bezeichnet und seine Projektion auf einen Kreischnitt des Kegels sei  $\alpha$ . Es ist zunächst notwendig, eine Beziehung zwischen  $\delta$  und  $\alpha$  abzuleiten. (Fig. 12.)

Bezeichnet man mit  $m$  die Erzeugenden, mit  $r$  den Radius und mit  $h$  die Höhe des Kegels, ferner mit  $s$  eine Sehne, so erhält man folgende Beziehungen:

$$m = \frac{h}{\cos \varphi}, \quad s = 2r \sin \varphi, \quad \frac{r}{h} = \operatorname{tg} \varphi, \quad \sin \frac{\delta}{2} = \frac{s}{2m},$$

daraus ergibt sich weiter

$$\sin \frac{\delta}{2} = \frac{2r \sin \frac{\alpha}{2} \cos \varphi}{2h} = \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \sin \varphi$$

und für den Winkel selbst gilt dann

$$\delta = 2 \arcsin \left( \sin \varphi \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \right)$$

Der Winkel  $\delta$  ändert sich nun von  $0^\circ$  bei  $\alpha = 0$  bis zu einem Maximum  $\delta = 2\varphi$  bei  $\alpha = 180^\circ$  und durchläuft dann von  $\alpha = 180^\circ$  bis  $\alpha = 360^\circ$  abnehmend wieder dieselben Werte bis  $\delta = 0^\circ$  bei  $\alpha = 360^\circ$ .

Der mittlere Wert  $\delta_m$  ist daher gegeben durch die Summe aller Werte von  $\delta$ , geteilt durch ihre Anzahl, also durch das Integral von  $\delta$ , genommen zwischen den Grenzen  $\alpha = 0^\circ$  und  $\alpha = 180^\circ$ , dividiert durch den Wert von  $\alpha$  für  $180^\circ$ , das ist  $\pi$ .

$$\delta_m = \frac{2}{\pi} \int_{\alpha=0}^{\alpha=\pi} \arcsin \left( \sin \varphi \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \right) d\alpha.$$

$\sin \varphi$  ist eine Konstante und es wurde hiefür im folgenden  $\Phi$  gesetzt. Um das Integral zu berechnen, wurde der  $\arcsin$  in eine Reihe aufgelöst:

$$\begin{aligned} \int \arcsin \left( \Phi \sin \frac{\alpha}{2} \right) d\alpha &= \int \Phi \sin \frac{\alpha}{2} d\alpha + \frac{1}{2 \cdot 3} \int \Phi^3 \sin^3 \frac{\alpha}{2} d\alpha + \\ &+ \frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4 \cdot 5} \int \Phi^5 \sin^5 \frac{\alpha}{2} d\alpha + \dots \end{aligned}$$

Löst man die einzelnen Integrale auf, so erhält man

$$\begin{aligned} \int \arcsin \left( \Phi \sin \frac{\alpha}{2} \right) d\alpha &= -2\Phi \cos \frac{\alpha}{2} + \frac{\Phi^3}{2 \cdot 3} \cdot 2 \left[ -\frac{1}{3} \left( \sin^2 \frac{\alpha}{2} + 2 \right) \cos \frac{\alpha}{2} \right] + \\ &+ \frac{1 \cdot 3 \cdot \Phi^5}{2 \cdot 4 \cdot 5} \cdot 2 \left[ -\left( \frac{1}{5} \sin^4 \frac{\alpha}{2} + \frac{4}{15} \sin^2 \frac{\alpha}{2} + \frac{8}{15} \cos \frac{\alpha}{2} \right) \right] + \dots \end{aligned}$$

Das bestimmte Integral, bezogen auf die Grenzen  $\alpha = 0$  und  $\alpha = \pi$ , ist daher (die obere Grenze wird 0, da  $\cos \pi = 0$ ):

$$\begin{aligned} \int_0^\pi \arcsin \left( \Phi \sin \frac{\alpha}{2} \right) d\alpha &= 2\Phi + \frac{\Phi^3}{2 \cdot 3} \cdot 2 \cdot \left( +\frac{2}{3} \right) + \frac{1 \cdot 3 \cdot \Phi^5}{2 \cdot 4 \cdot 5} \cdot 2 \cdot \left( +\frac{8}{15} \right) + \dots \\ &= 2\Phi + \Phi^3 \cdot \frac{2}{9} + \Phi^5 \cdot \frac{2}{25} + \dots \end{aligned}$$

Wird dies in Gleichung für  $\delta_m$  eingesetzt und gleichzeitig wieder  $\Phi$  durch  $\sin \delta$  ersetzt, so erhält man allgemein für den mittleren Winkelabstand der Erzeugenden eines geraden Kreiskegels mit dem Öffnungswinkel  $2\varphi$ :

$$\delta_m = \frac{4}{\pi} \left[ \sin \varphi + \frac{1}{9} \sin^3 \varphi + \frac{1}{25} \sin^5 \varphi + \dots \right]$$

Setzt man nun in diese Formel für  $\varphi$  den anfangs angeführten Wert für Kalzit, also  $\sin \varphi = \sin 26^\circ 15' = 0.4423$  ein, so erhält man

$$\delta_m = \frac{4}{\pi} (0.4423 + 0.0096 + 0.0007 + \dots) = 0.5754$$

im Bogenmaß ausgedrückt und in Graden

$$\delta_m = 33^\circ 01'.$$

Dies ist also die mittlere Achsendivergenz, d. i. der mittlere Abstand der optischen Achsen zweier Kalzitkörner, wenn die Kalzitkörner mit einer Fläche  $-\frac{R}{2}$  in eine Ebene eingestellt sind, sonst aber regellos liegen.

## 2. Mittlere Lotdivergenz.

Kalzitkörner sind mit einer Fläche  $-\frac{R}{2}$  in eine Ebene  $E$  eingestellt.

Der Winkel zwischen je zwei Loten auf die drei Flächen  $-\frac{R}{2}$  eines Kornes beträgt  $\varphi = 45^\circ 3'$ . Es ist der mittlere Winkel der Lote verschiedener Körner zu bestimmen: Mittlere Lotdivergenz ( $\lambda_M$ ).

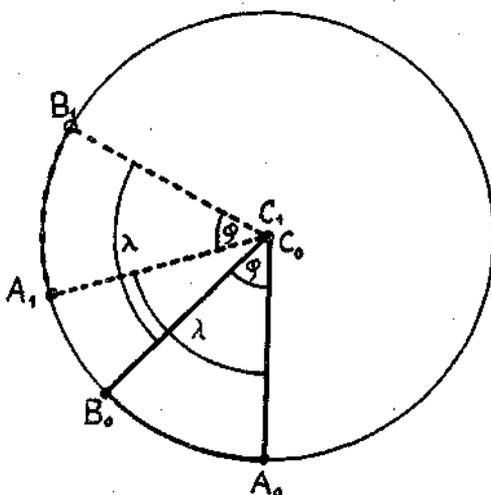


Fig. 13.

Je ein Lot jedes Kornes steht auf der Ebene  $E$  senkrecht, die übrigen zwei Lote liegen auf einem Kegelmantel, dessen halber Öffnungswinkel  $\varphi$  beträgt. Der Winkel zwischen zwei Loten ein und desselben Kornes ist immer  $\varphi$  (Fig. 13).

Zwischen den sechs Loten zweier Körner ergeben sich neun Winkel mit folgenden Werten:

$$\begin{array}{l|l|l} \sphericalangle A_0 A_1 = \lambda & \sphericalangle B_0 A_1 = \lambda \pm \varphi & \sphericalangle C_0 A_1 = \varphi \\ \sphericalangle A_0 B_1 = \lambda \pm \varphi & \sphericalangle B_0 B_1 = \lambda & \sphericalangle C_0 B_1 = \varphi \\ \sphericalangle A_0 C_1 = \varphi & \sphericalangle B_0 C_1 = \varphi & \sphericalangle C_0 C_1 = 0 \end{array}$$

Vier Winkel haben also den veränderlichen Wert  $\lambda$ , bzw.  $\lambda \pm \varphi$ , dessen mittlerer Wert  $\lambda_m$  sei, weitere vier den konstanten Wert  $\varphi$  und einer den Wert 0.

Der mittlere Wert aller Winkel ist daher:

$$\lambda_M = \frac{4\lambda_m + 4\varphi}{9} = \frac{4}{9}(\lambda_m + \varphi)$$

Die Berechnung des Mittelwertes  $\lambda_m$  geschieht auf dieselbe Weise wie bei der mittleren Achsendivergenz  $\delta_m$ :

$$\lambda_m = \frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \arcsin \left( \sin \varphi \sin \frac{\alpha}{2} \right)$$

da 
$$\lambda = 2 \arcsin \left( \sin \varphi \sin \frac{\alpha}{2} \right)$$

ist. Führt man wie früher das Integral aus, so erhält man:

$$\lambda_m = \frac{4}{\pi} \left[ \sin \varphi + \frac{1}{9} \sin^3 \varphi + \frac{1}{25} \sin^5 \varphi + \frac{1}{49} \sin^7 \varphi + \dots \right]$$

Setzt man wieder für  $\varphi$  den für Kalzit gültigen Wert ein

$$\sin \varphi = \sin 45^\circ 3' = 0.7077$$

so erhält man

$$\begin{aligned} \lambda_m &= 0.9636 \text{ im Bogenmaß und} \\ \lambda_m &= 55^\circ 13' \text{ im Winkelmaß.} \end{aligned}$$

Setzt man den letzteren Wert in die oben erhaltene Formel für  $\lambda_M$  ein, so gibt das

$$\lambda_M = \frac{4}{9} (55^\circ 13' + 45^\circ 3') = 44^\circ 34'$$

für die mittlere Lotdivergenz, also den Mittelwert der Winkel der Lote auf die Flächen  $-\frac{R}{2}$  verschiedener Kalzitkörner, die mit einer Fläche  $-\frac{R}{2}$  in eine Ebene eingestellt sind, bei sonst regelloser Lage.

### Allgemeine Aussichten der U-Tisch-Methode.

Hinsichtlich der Gefügeanalyse ist der U-Tisch noch mancher Verbesserungen fähig. Vor allem ist der fortwährende Wechsel zwischen Bild und Skalenablesung, welcher am meisten verzögert und die Augen anstrengt, durch schleifende Schnappfedern für die Ausgangsstellung der Teilkreise mehrfach zu umgehen. Auch ein Klemmring mit Fortsatz angebracht am Objektiv leistet den Dienst, daß man die Ausgangsstellung von  $A_4$  ertastet, nicht abliest. Ferner ist eventuell mit Vergrößerung des ganzen Tisches ein Parallelführer mit Schraubenantrieben unbedingt anzustreben. Ferner würde eine Vorrichtung, welche einen polierten Anschliff an Stelle des unteren Segmentes zu befestigen gestattet, die Vorteile meßbarer Drehungen auch der Untersuchung im schief auffallenden Intensivlicht zugute kommen lassen.

Die durch den U-Tisch lösbaren Aufgaben sind so zahlreich, daß man ein Gebiet vor sich sieht, auf welchem sich die Arbeitenden nicht zu bedrängen brauchen, sondern ohne sich zu übler Hast zu treiben, gegenseitig fördern können, wenn eine gewisse Arbeitsteilung eingehalten wird.

Zunächst darf man mit einer derartigen, auch gegenüber niedrigen statistischen Regelungsgraden fast beliebig empfindlich zu machenden

Methode durchaus erwarten, allenthalben, wo sie bisher übersehen wurden, die in der II. Folge (S. 228) aufgezählten Kategorien der Gefügeregeln aufzufinden und immer eingehender deuten zu lernen. Es zeigt sich dem Petrotektoniker die Möglichkeit, immer genauer sowohl auf die Deformationsbedingungen der Gesteine rückzuschließen, als auch die Teilbewegung der Tektonite immer besser zu erfassen und zu summieren, wobei man umstrittene großtektonische Annahmen mehr und mehr beurteilen wird ohne sie vorauszusetzen. Es zeigt sich dem Sedimentpetrographen die Aussicht, durch das Studium und die Typisierung der Aufbereitungsregeln der Sedimente sedimentäre Fazies immer schärfer zu typisieren und immer sicherer genetisch zu deuten. Man wird voraussichtlich lernen die Aufbereitungsregelung desselben Minerals bei Sedimentation in Luft, in Wasser ja sogar in Süßwasser und Meerwasser zu unterscheiden. Dem Petrographen der Massengesteine zeigt sich die Aussicht, von der Gefügeanalyse aus die endlose (weil mit bisherigen Verfahren noch zu konturlose), Debatte darüber was von Gefügeelementen der allerersten und was späteren Erstarrungsphasen zuzuordnen sei, fruchtbar abzuschließen, worüber nach mündlicher Mitteilung bald die ersten Versuche von Fischer-München zu erwarten sind.

So ist allein schon das Gebiet der geregelten Gefüge ein unabsehbares Arbeitsfeld und es zeigt sich schon jetzt, daß es schwieriger ist, ein unregelmäßiges Gefüge zu finden als ein geregeltes, was allgemein mit der Anisotropie der Gefügekörner angesichts der uns bekannten Gesteinsebenen folgt.

Ein weiteres Arbeitsgebiet aber, das in dieser Arbeit erst etwas berührt wurde, betrifft das Verhalten des wachsenden, deformierten, rekristallisierenden Einzelkorns als Gitteraggregat über dessen Regelung bei Deformation sowohl als beim Wachstum einiges Allgemeine in der II. Folge bemerkt wurde.<sup>1)</sup> Es war für mich überaus erfreulich zu sehen, daß mit ganz anderen Gründen operierend die Physik nunmehr den realen Kristall weit eher als Gitteraggregat denn als Einkristallgitter betrachtet, welches letzteres ich aus den in Folge II angeführten Gründen eben durch die Vorstellung des Gitteraggregates ersetzt hatte. Auch geregelte Gitteraggregate z. B. ein undulöser Quarz gestatten bisweilen eine Aufnahme ihrer Regelung mit dem U-Tisch und damit die Definition ihrer Deformations- und Wachstums-Mechanismen. Dasselbe gilt von der auch für die Frage der mechanisch-chemischen Deformation so wichtigen Untersuchung der „Parallell“-Verwachsung und der pseudomorphen Verdrängung mit zuordenbarer Orientierung des zweiten Minerals dem umgewandelten gegenüber. Auch die systematische Klärung der „homoaxen Pseudomorphose“ (besser wäre es, allgemein etwa von „nach dem Vorgänger irgendwie gerichteten“ Umwandlungsprodukten zu reden) wird dem Fedorow zu danken sein; insbesondere auch die genetische Bedeutung derartiger gerichteter Umwandlungsprodukte, z. B. von Neubildungen an Translationsflächen der Kristalle.

<sup>1)</sup> Unter anderem habe ich l. c. auch schon das Gitteraggregat als Wachstumsform an Stelle des „Einkristalls“ gesetzt, was zu Smekals freundlicher Bezugnahme vom Mosaikkristall oder „wirklichen Kristall“ der neueren Physik aus, zu ergänzen ist.

## Einzelne Beispiele.

### I. Tuxer Marmor der unteren Schieferhülle der Hohen Tauern nächst Hintertux.

Die Falte ist entnommen mitten aus dem Marmor des im Jb. 1921, S. 274ff, beschriebenen tektonisch gewalzten Bewegungshorizontes mit W einfallenden Faltenachsen und Stengelfalten, mit deren Richtung die *b*-Achse unserer Falte zusammenfällt.

Kalkmarmor mit etwas Glimmer im sedimentären *s*.

Falte von der in Fig. 16 gezeichneten Form, mit den Symmetrieebenen (*a c*) und (*a b*). Teilfalten mit etwas Füllung zwischen den Schenkeln, aufeinander reitend. Dimension der Teilfalten in der Richtung der Achse *a* ziemlich konstant, also hierin der Forderung für Gleitbrettfalten entsprechend.

Gefügeregelung nachkristallin, passiv, homogen in bezug auf Kalzit, teilweise homogen in bezug auf Glimmer; —  $\frac{R}{2} \parallel s_2 \cdot s_2$ ; verläuft, teilweise gekrümmt, ungenau in der Zone der Achse *b*, sonst aber unabhängig vom Achsenkreuz *a b c* der Faltenform, namentlich ist  $s_2$  nicht parallel (*a b*). Demnach ist diese höchstsymmetrische Faltenform nicht nur durch  $s_2$  als Gleitbrettfalte erzeugt.

Dies ist die erste kurze Kennzeichnung der Falte, teilweise ablesbar aus den U-Tischdiagrammen Fig. 16, 17 und belegt durch dieselben, worauf ich später zurückkomme. Vorerst aber verwenden wir die Falte als ein Beispiel für den Vorgang bei der Analyse einer Falte. Diese bzw. die Vorbereitung einer erfolgreichen Analyse beginnt eigentlich schon damit, daß aus einem mir selbst feldmäßig bereits gut bekannten Gebiete nicht eine geometrisch schwierig beschreibliche Form gewählt wurde, sondern eine mit einfachen Bezugsdaten und eine zugleich für unseren derzeitigen theoretischen Fragenstand durch die bereits einleitend erörterten Umstände voraussichtlich ergiebige. Man läuft sonst Gefahr, sich ohne Erfolg mit den „Problemen einer Falte“ abzugeben, deren Komplikation ohne vorherige Durcharbeitung und Typisierung einfacher Fälle derzeit eben noch schwierig beherrschbar und keinesfalls klar darstellbar ist, wofür in der Literatur seit Toulas Versuchen Beispiele zu finden sind. Nähere Betrachtung lehrt unseren Fall als einen für den Anfang schon genügend komplizierten kennen.

Wir unterscheiden makroskopisch:

$s_2$  die bogenförmig zur „Falte“ gekrümmte Schichtung

$s_2$  als feinste auf dem Anschliff (*a c*) wie Fig. 16 zeigt, verlaufende rapturelle Spuren. Auch auf den Schenkelflächen wird  $s_2$  als feine Stufung (siehe Fig. 16) sichtbar, welche nicht genau  $\parallel b$  verläuft und damit schon erkennen läßt, daß  $s_2$  nicht genau in der Zone von *b* liegt.

$s_3$ ; der ( $a c$ ) Ebene am nächsten aber ebenfalls alle drei Achsen schneidend liegt eine Schar von kalzitverheilten Querklüften zur Faltenachse. Diese  $s_3$  Flächen folgen, hierin gänzlich verschieden von den unmittelbar aufeinander folgenden „dichten“  $s_2$  Flächen, in Abständen von 1–2 cm und mehr aufeinander also sehr „undicht“. Ebenfalls im Gegensatz zu  $s_2$  zeigen sie keine Verschiebung in  $s_3$ .

Im allgemeinen hat man von allen derart feststellbaren Gefügeflächen festzustellen:

1. Den Verlauf in bezug auf  $a b c$ ;
2. Primäre und eventuell sekundäre Minerale in der Gefügefläche;
3. Absolute und relative Korndimensionen (Größe und Gestalt);
4. Deformations- und Kristallisationsvorgänge in der Gefügefläche;
5. Zeitliches Verhältnis zu jeder anderen Gefügefläche;

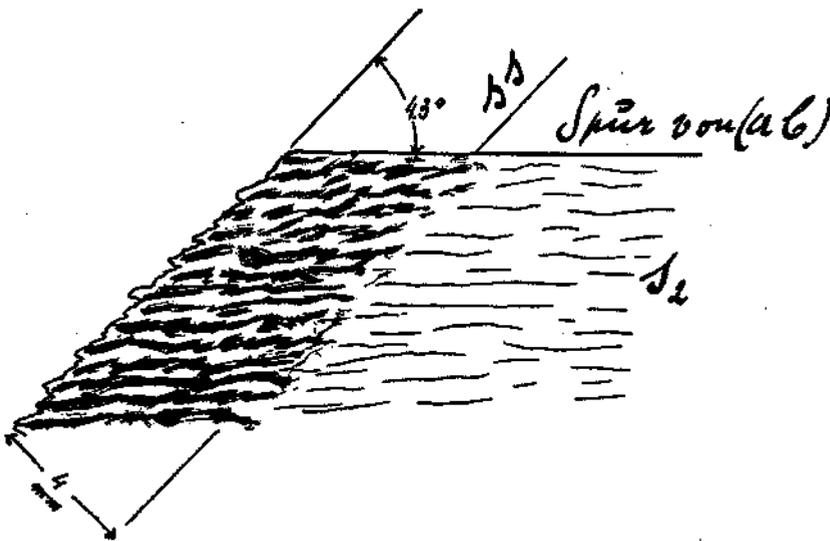


Fig. 14.

6. Rolle der Fläche als bloße Vorzeichnung oder als mechanische Unstetigkeitsfläche;
7. Mechanische Funktion: Scherfläche oder Reißfläche.

Mit der Beantwortung dieser Fragen wächst die Aussicht, eine vollkommene Synthese der Entstehung der betreffenden Deformation zu erreichen.

Für den Zweck der vorliegenden Arbeit, einige Falten zu typisieren, genügt eine kürzere Behandlung.

ss ist teils durch Glimmer also mechanisch wirksam, teils nur durch graphitische Schwärzung, also wohl bloße Zeichnung gegeben. Der Glimmer liegt teilweise noch in ss, an anderen Stellen aber bezeichnet der Glimmer zwar das ss des Faltenbogens, ist aber in  $s_2$  eingeregelt wie Fig. 14 und Fig. 15 zeigen. Fig. 14 zeigt 4 mm als Mächtigkeit der Glimmerzeichnung eines Faltschenkels; Fig. 15 ist ein vergrößertes Detail aus Fig. 14.

Wo also  $s_2$  das aus Kalzit und Glimmer bestehende ss schneidet, stellt sich sehr oft die dargestellte Periodizität in der Verteilung (nicht Orientierung) der Glimmer ein, welche nicht sedimentär

angelegt sein kann, sondern ein klares Sonderbeispiel tektonischer Entmischung eines Gefüges darstellt, insofern sich nicht nur die Orientierung sondern auch die Verteilung der Glimmer im Gefüge unzweifelhaft geändert hat. Die Glimmerlagen halten durchschnittlich bisweilen mit sehr bemerkenswerter Regelmäßigkeit 0.5 mm Abstand voneinander im Kalzitgefüge. Die Glimmer sind bisweilen bei der ziemlich ungenauen (mit dem U-Tisch noch nicht analysierten) Einregelung in  $s_2$  verbogen worden.

$ss$  ist teilweise in eine sehr schöne Suture umgewandelt. Der Glimmer bekleidet dann als Film eine in der Aufsicht rundhöckerig warzige Oberfläche ohne weiteren Richtungssinn. Im Querschnitt ist im Kopf der Warzen fast immer Eisenfärbung zu sehen. Man gewinnt den Eindruck, daß diese Suturbildung, die der Gesteinsdeformation in keiner Weise zuordenbar und jünger als  $ss$ , als die Faltung und auch als  $s_3$  ist, als ein den Glimmerfilm verlagernder Lösungsvorgang am Kalzit durch die Zersetzung örtlich in  $ss$  liegender kleiner Pyrite ausgelöst

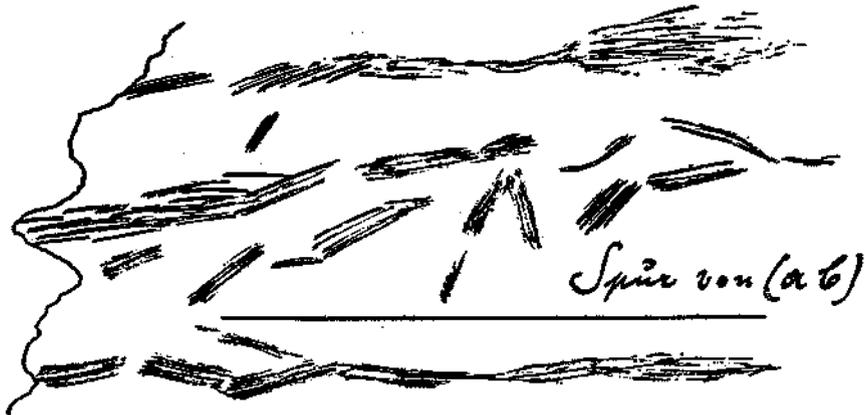


Fig. 15.

war. Jedoch kann über Suturen an größerem Material erst später gehandelt werden. Es ist von Interesse, was sich bezüglich  $s_2$  schon im auffallenden Licht im Anschliff feststellen läßt.  $s_2$  schneidet überall die Kalzitverheilung von  $s_3$  ist also wenigstens teilweise jünger als  $s_3$  und sogar als dessen Kalzitverheilung.

Die Riefung der Faltenschenkel angenähert in  $b$ -Achsen-Richtung ist eine durch das Ausstreichen von  $s_2$  auf  $ss$  erzeugte Stufung und nicht etwa Streckung korrelat zu den Reißflächen  $s_3$ .

$s_2$  zeigt sich als ein für den ersten Blick zackig intergranular verlaufendes Netz kräftiger anastomosierender Rupturen mit einem mittleren Abstand von 1—2 mm. Die kräftigeren Rupturen in  $s_2$  trennen also mehrfache Kornlagen von 10 bis 20 größeren Körnern in der Mächtigkeitsrichtung. Der Marmor erscheint von den kräftigeren Rissen in  $s_2$ , deren Verlauf das Schema in Fig. 16 gibt, nicht in den Körnern sondern zwischen den Körnern im genannten Abstand der Scherflächen zerschert. Bei stärkeren Vergrößerungen ergibt sich, daß dieses unter Kornzerbrechung intergranular verlaufende  $s_2$  sehr oft plötzlich gänzlich abbricht, das heißt in glasklaren, quer im Wege liegenden Körnern zunächst vollkommen unsichtbar wird. Die Entscheidung darüber, ob

in solchen Fällen an Stelle des rupturellen  $s_2$  die Translation im genügend vollkommen eingeregeltten Kalzite tritt, oder ob etwa, was ja von vornherein immer mit zu bedenken ist, örtliche Rekristallisation  $s_2$  örtlich vollkommen verwischt hat, ergibt sich bei stärkerer Vergrößerung ebenfalls schon im Anschliff. Es ist zu beobachten, daß die Orientierung der Kalzite die Fortsetzung von  $s_2$  als Translationsfläche in solchen Fällen durchwegs ermöglicht ( $-\frac{R}{2}$  subparallel  $s_2$ ), ja daß Zwillinglamellen  $s_2$  direkt fortsetzen. Das Abbrechen von  $s_2$  erfolgt dann nicht in Gestalt einer Zersplitterung in Äste wie sonst in der Intergranulare sondern ganz plötzlich und die Fortsetzung von  $s_2$  besteht dann in haarscharfen durch eingedrungene Luft sichtbaren Flächen  $-\frac{R}{2}$ . Daneben gibt es Fälle, in welchen sich  $s_2$  in dem von kleinen (rekristallisierten?) Kalziten erfüllten Intergranularnetz zwischen den großen darin flottierenden wasserklaren Kalziten verästelt und verliert. Dies ist also das erste Bild eines nachkristallin zerscherten Kalzitgefüges und ein Sonderbeispiel für (in diesem Falle chemisch unwirksame) selektive Deformation eines Gefüges, in dem nur die zahlreichen besser einregelbaren Kalzite als große klare Körner erhalten blieben.

Zweige des intergranularen  $s_2$  liegen bisweilen in (*a b*). Im einzelnen verläuft also  $s_2$  nie als ungebrochene Gerade, sondern als eine durch Konturen größerer Körner diktierte unruhig gebrochene Linie entsprechend den im Maße der Korngröße aufgerauhten Flächen  $s_2$ . Von jeder Fläche  $s_2$  entfällt also ein Teil auf rauhe, intergranulare „Rotationsscherfläche“, ein Teil auf glatte, intragranulare „Translationsscherfläche“ innerhalb der von Anfang an oder durch Rotation eingestellten Körner. Daß es sich auch um letztere Kategorie von Körnern, also um passiv eingeregeltte handelt, deren genaue Einstellung mit den Lamellen  $\parallel s_2$  schon im auffallenden Licht leicht zu beobachten ist (übrigens auch durch freihändige Rotation eines Schliffes gegen schiefes Sonnenlicht), das ergibt sich aus der großen Zahl dieser Körner. Man müßte andernfalls die unmögliche Annahme machen, daß eine durchgreifende aktive Regelung der Körner wie eine solche, derzeit nur an Sintern und Gangfüllungen überhaupt bekannt ist mit der Orientierung  $-\frac{R}{2}$  subparallel  $s_2$  vorgelegen habe. Eine ältere ganz oder ungefähr teilweise gleichsinnige passive Regelung aber kann vor dem betrachteten letzten Prägangsakte bereits vorgelegen haben. Diese Frage kann nur im Zusammenhang mit sorgfältigen, bei anderer Gelegenheit durchzuführenden Rekristallisationsstudien dargestellt werden.

Es ergab sich also schon vor Verwendung der U-Tisches im Anschliffe der eben genau angeführte qualitative Einblick in eine Form des Auftretens passiver Kalzitregelung: die Kalzite werden mit der besten Translationsfläche in Scherflächen eingestellt. Ganz wie dies den allgemeinen Erörterungen über rotierende Einstellung der Körner (I. Folge) und Schmidts Anschauungen (siehe Gesteinsdeformation) über „Einregelung“ in Scherflächen entspricht.

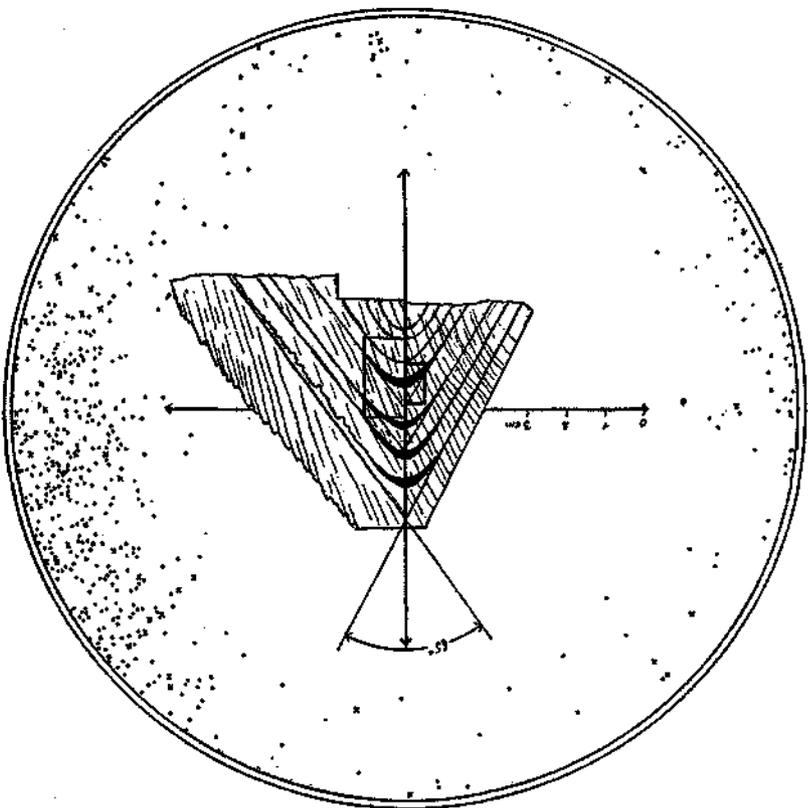


Fig. 16. 500 Pole Kalzittlamellen.  
Marmor der unteren Schieferhülle, Hintertux.

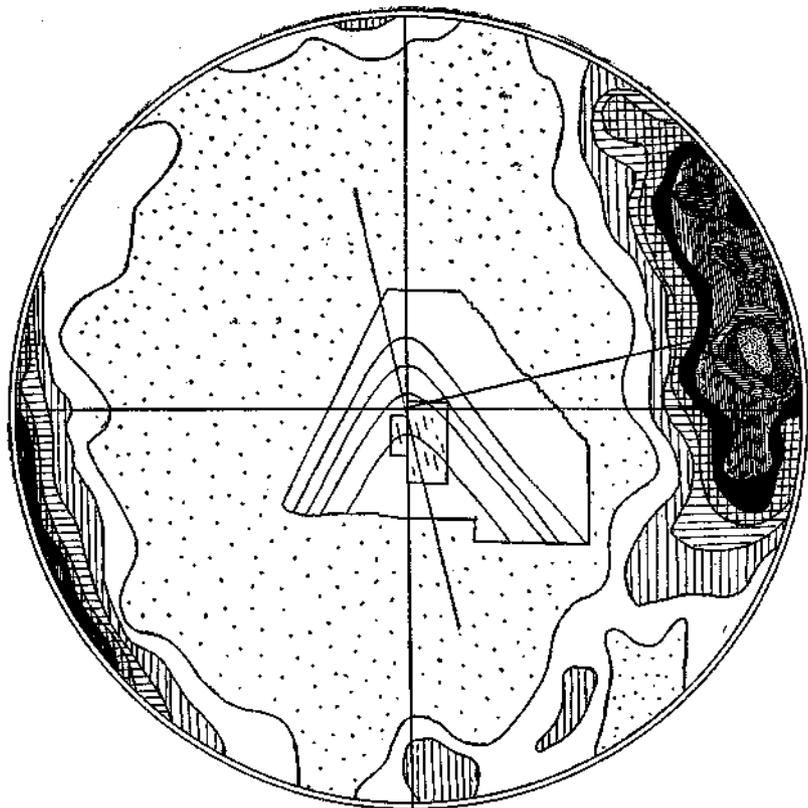


Fig. 17. 500 Pole Kalzittlamellen ausgezählt.

Dies kann auch zur Kennzeichnung der so einfachen intergranularen Beleuchtung dienen. Dagegen wird sich später zeigen, daß jede sichere Erfassung der Regelung ohne U-Tisch unmöglich wäre. Auch über die Form der größeren Körner und des Intergranularnetzes läßt sich schon in verschieden orientierten Anschliffen Folgendes festlegen.

Die Körner erscheinen:

Auf  $(b\ c)$  als Linsen mit den vorwaltenden Ausmaßen

$$b = 120\ \mu \quad c = 60\ \mu$$

auf  $(a\ c)$  als Linsen mit den vorwaltenden Ausmaßen

$$a = 120\ \mu \quad c = 60\ \mu$$

auf  $(a\ b)$  rundlich ohne Vorzugsrichtung  $a = 120\ \mu$ ,  $b = 120\ \mu$ .

Die Anordnung der Glimmer ist auf  $(b\ c)$  die feinsten, im Streichen  $\parallel b$  zusammenhängender Lagen; auf  $(a\ c)$  die in Fig. 14 und 15 schon dargestellte.

Die weißbelegten (Rekristallisation?) feinhöckerigen Intergranularen, deren Lumen durch Luft sichtbar ist, zeigen bisweilen einen Richtungssinn, durch Stufung entsprechend der Kornlamellierung, eine Beobachtung, welche sich ebenfalls zur Feststellung der Gleitrichtung im Gesteine verwenden ließe.

Im ganzen liegt ein chemisch sehr reiner aber milchig getrüberter Marmor vor. Letzterer Umstand bezeugt nach Schulung durch die entsprechenden Vergleiche allein schon das starke Vorwalten nachkristalliner Deformation.

Von Interesse ist das zuerst auch durch intergranulare Aufhellung aufgefundene, noch besonders aber durch Drehung im U-Tisch sicher gestellte Phänomen der „Fadenporen“. Die linearen geraden weißlichen Poren, welche bei der plastischen Deformation des Kalzits auftreten (s. auch „Untersuchungsmethoden“) findet man mit allen Übergängen verkrümmt und schließlich gleich wirren Fäden weißen Zwirns ohne jede Gleichinnigkeit durcheinander verworren. Die beiden erwähnten Methoden erlauben eine sichere räumliche Erfassung des Phänomens, das in Dünnschliffen eben immer entgangen sein dürfte, auch des letzterwähnten Umstandes. Die Beziehbarkeit solcher verknäuelter Porenfäden auf das derzeitige Gitter und ihre Ableitbarkeit aus Gleitungen mit stetig sich änderndem Betrag erscheint bisweilen zweifelhaft, ist jedoch in keinem Falle bisher mit absoluter Sicherheit auszuschließen, wie die Erörterungen zur Falte II zeigen. Im Experiment fehlten die verkrümmten Fadenporen, jedoch ist die Einspannung des Kornes eine weit einfachere als im Gestein und daher auch sein Deformationsmechanismus. Weiteres über Fadenporen findet sich später.

Wir betrachten nun unter Hinweis auf das bereits im allgemeinen Teil Gesagte und Fig. 16 und 17 den Hergang der Untersuchung mit dem U-Tisch.

Die Diagramme zeigen das richtig in die Lagenkugel eingestellte Anschliffbild von  $(a\ c)$ , in welchem der durch Teildiagramme aufgenommene Teil umgrenzt ist. Das Bild zeigt demnach die Spuren von

ss und  $s_2$ . Es wurden nicht die Achsen sondern sämtliche sichtlich zur Gleitung benützte Lamellen —  $\frac{R}{2}$  (500) meist, aber nicht immer Zwillinglamellen, aufgenommen. Nur eine ganz verschwindende Zahl von Körnern zeigte keine einmeßbare Lamelle, die meisten Körner nur eine einzige nahe  $s_2$ . Die Trennung von großen und kleinen Körnern durch verschiedene Signale ergab keinen Unterschied zwischen den beiden in der Diagrammbesetzung und wurde daher für die Illustration fallen gelassen. Dagegen zeigt Fig. 16 die Homogenität der Regelung: zwischen den (Kreuz-) Signalen der Körner links von ( $a b$ ) und den (Punkt-) Signalen der Körner rechts von ( $a b$ ) besteht wie man sieht kein Unterschied in der Verteilung. Man erkennt ohne weiteres, daß die verzeichneten Lote der Kalzitlamellen im Maximum senkrecht auf der Spur von  $s_2$  im untersuchten Felde stehen nicht etwa senkrecht auf ( $a b$ ); sowie daß diese Flächen  $s_2$  ( $= || - \frac{R}{2}$ ) nicht genau senkrecht auf der Zeichenebene stehen, also nicht genau in der  $b$ -Achsenzone liegen, wie wir es an der Falte schon früher feststellten.

Wenn man in N—S Vertikalzeilen (siehe Diagramm) durchmißt, so kommt man jeweils nach einiger Zeit an den Kreuzungspunkt der scharf ausgesprochenen Regelungsfläche  $s_2$  mit dem Bogen von  $ss$ . An solchen Stellen wird die Art der Besetzung sogleich beachtenswert: Es treten die über die Peripherie des Maximums verstreuten Polpunkte auf. Oder, anders gesagt, die Scherfläche  $s_2$  stolpert über  $ss$ . Rein deskriptiv entspricht dem eine größere Lagefreiheit der Drucklamellen des Kalzits ungefähr in der Zone der  $b$ -Achse, genauer gesagt in der Zone der Schnittgeraden zwischen  $s_2$  und  $ss$ , in welcher letzterem ebenfalls einregelnde Gleitungen erfolgen.

Man ersieht namentlich aus dem statistisch ausgemessenen Diagramm Fig. 15, daß der vorliegende Marmortektonit hinsichtlich —  $\frac{R}{2}$  hochgradiger geregelt ist als mancher Glimmerschiefer hinsichtlich des Glimmers. Es liegt der Typus einer Falte vor, deren Gefüge genau nach  $s_2$  geregelt ist, welches fast ohne Störung die Faltenbogen überprägt, aber nicht als Gleitbrett zur vorliegenden höchstsymmetrischen Falte geführt haben kann. Da aber, nach später zu erörternden Erfahrungen zu schließen, Marmore leicht umprägbar sind, so kann unsere Regelung nur als Ausdruck der allerletzten Deformationsphase genommen und weder für noch gegen die Anlage der Falte als Gleitbrettfalte (in einer vorhergehenden Deformationsphase ohne Relikte) etwas absolut Entscheidendes ausgesagt werden. Möge sie also der Leser als das nehmen, als was ich sie bringe: nämlich als ein Beispiel für die Anwendung einiger gefügeanalytischen Methoden für nachkristalline, teilweise krummflächige Umregelungscleavage und für eine verbreitete Regelung von Kalzitektonit, welchen ich aus Mangel an Apparaturen leider nicht selber röntgenoptisch in feinkörnige Kalke verfolgen kann. Wir werden weiter unten die Entstehung dieser Falte als Gleitbrettfalte wahrscheinlicher machen können, als sie vielleicht jetzt dem Leser scheint.

Noch etwas erscheint sehr wichtig. Die Flächenschar  $s_2$  durchsetzt die Faltenform schief und z. T. bogig, ohne deren hohen Symmetriegrad aufzuheben. Das weist wie auch (noch deutlicher) spätere Erfahrungen darauf hin, daß die Beträge der Relativverschiebung in  $s_2$  keine sehr beträchtlichen waren und daß —  $s_2$  als Scherfläche gefaßt — geringere Beträge für die Einregelung von  $-\frac{R}{2} \parallel s_2$  ausreichten.

Es wurde auch vom Schlicke ( $b c$ ) ein Diagramm aufgenommen, welches mit dem hier abgebildeten in Einklang steht und namentlich auch die Stellung von  $s_2$  schief im Achsenkreuz sehr gut hervortreten läßt.

Staffelung des ausgezählten Diagramms (Fig. 15) in Promille: Von tausend Polen entfallen auf 1<sup>0</sup>/<sub>0</sub> der Halbkugelfläche:

weit punktiert.	0— 5	
weiß.....	5— 10	Grenze zwischen Unterbesetzung und Überbesetzung
weit vertikal..	10— 20	
weit horizontal.	20— 30	
weit quadriert.	30— 50	
schwarz.....	50— 70	
eng vertikal...	70— 90	
eng horizontal.	90—110	
eng quadriert..	110—130	
eng punktiert..	über 130.	

## II. Marmor im Innsbrucker Quarzphyllit zwischen Roßkopf und Wattenspitz, Voldertal.

Klarer Kalkmarmor, nicht wie I durch nachkristalline Deformation in milchig getrübbten Kalzitkörnerfilz umgewandelt, sondern schönes Mosaik mit meist gleichmäßiger Korngröße und glatter scharfer Intergranulare.

Einzelkörner gleichwohl weit reicher an (nicht luminösen und daher nicht lichtstreuenden) Lamellen als die Körner in I.

In feinst umgefalteten schmiegsamen Quarzphyllit eingebettet, in demselben (siehe Fig. 18) vollkommen stetig deformierte gelappte Falten und nicht mehr selbst als Falten erkennbare, gänzlich ausgeplättete Lappen bildend. Ein derartiger stärkstens ausgeplätteter Lappen (unterster in Fig. 18) diente der Gefügeanalyse mit dem U-Tisch.

Es liegt also auch ein ganz anderer Symmetrietypus der Faltenform vor als in I, nämlich eine niedriger symmetrische Falte mit der Symmetrieebene ( $a c$ ) als einzigem Symmetrieelement.

Eine Reihe von Eigenschaften dieser Falten, so die kalzitverheilten Rupturen und anderes, ist erst in anderen Zusammenhängen von Interesse

Diese ebenfalls im tektonischen Profil wohlbekannte Form des eingefalteten Lappens stellt ein Extrem der mechanischen Formänderung dar, vielfach auch den Typus der gefalteten Falte, der in fluidale Lappen ausgewalzen (im Sinne des Tektonikers nicht gerade des technologischen vereinfachten, nach Schmidt übrigens ebenfalls schon mehrdeutigen Sonderfalles) Falte mit der Plättungsebene ( $a b$ ). Man ersieht aus Fig. 18

sogleich, daß es nicht möglich wäre, durch den Marmor und den einbettenden Phyllonit eine Schar ebener parallele Scherflächen zu legen.

Es ist nun von Interesse, daß diese im Vergleiche zu I so andersartige und unter anderen Bedingungen deformierte ausgewalzte Marmorfolie ebenfalls eine ganz ausgezeichnete Gefügeregel  $-\frac{R}{2} \parallel s$  zeigt, wobei  $s$  in die Plattungs- oder Walzungsebene ( $ab$ ) fällt.

Da der Marmor in der Prägung unter höheren Drucken bekanntlich leicht fließt (es ist angesichts dieses Umstandes durchaus nicht naheliegend an Lösungsplastizität zu denken, wenn Marmor eingebettete Brocken umfließt), so ist es nicht erstaunlich, daß selbst dem in ein so schmiegsames Medium wie Phyllonit eingebetteten Marmor jedes Anzeichen von Biegetrajektorien und überhaupt einer Leitung gerichteten Druckes während der Deformation nicht überall (vgl. Fig. 18, oberstes Bild), aber in den hier untersuchten Teilen fehlt.

Intergranulare Beleuchtung des Anschliffs zeigt folgendes. In ( $ac$ ) polygonales Mosaik aus lamellierten Kalziten, Intergranulare unverzahnt, vollkommen besetzt von Pyritkörnern.

Die Körner sind etwas gestreckt nach  $a$ , im Schnitte ( $bc$ ) auch nach  $b$ , in ( $ab$ ) ohne Vorzugsrichtung im Umriß. Randlich verläuft eine sehr scharf abgegrenzte Zone, in welcher das Kalzitkörnergefüge in der Intergranulare und in den Lamellen der Kalzitkörner von limonitischem Ocker erfüllt ist. In den unversehrten Kalziten entspricht keinerlei Vererzung der Lamellen der Ockerverteilung.

Die starke limonitische Infiltration beweist die Wegsamkeit der Lamellen der Intergranulare und der später zu erörternden Fadenporen für die Lösung. Im Kalzitgefüge liegen mechanisch unversehrte runde Quarzkörner mit denselben Pyriteinschlüssen wie der Kalzit.

In ( $ab$ ) erkennt man bereits die Lamelleneinstellung in die  $b$ -Achsenzone, ferner sehr gut die Besetzung der ziemlich ebenen, flachbuckeligen (Gegensatz zu I) Intergranularen mit Pyrithäufchen.

Eine ganz reine erzfreie zeigte einen weißlichen Film ganz gleicher Art wie die Lamellen und Fadenporen, welchem bei stärkerer Vergrößerung feine höckerige Rauheit ganz ohne Richtungssinn in der Fläche entspricht, also hierin auch gut dem Kristallisationsprozeß an der Grenzfläche deformierter Gitteraggregate als einer Ausgleichsfläche für wechselndes Ungleichgewicht.

Diese Höckerchen haben 1—5  $\mu$  Basisdurchmesser.

Daneben gibt es ganz glatte Intergranularen bisweilen zwischen Kalzitkörnern und immer zwischen Kalzit und Quarz.

Selbst wenn man annimmt, daß der Kalzit ausgezeichnet plastisch deformierbar war, scheint mir die Körnerform zu wenig oblong für die starke Auswalzung. Dieser Umstand und die Fadenporen mögen ebenso für Rekristallisation mit noch darauffolgender neuerlicher Drucklamellierung sprechen als die sehr saubere und glatte Körnerform (im Vergleiche zu I).

An den Fadenporen, welche wie in I namentlich gegen angrenzende Glimmerlagen hin entwickelt sind, lassen sich eine Reihe sicherer Beob-

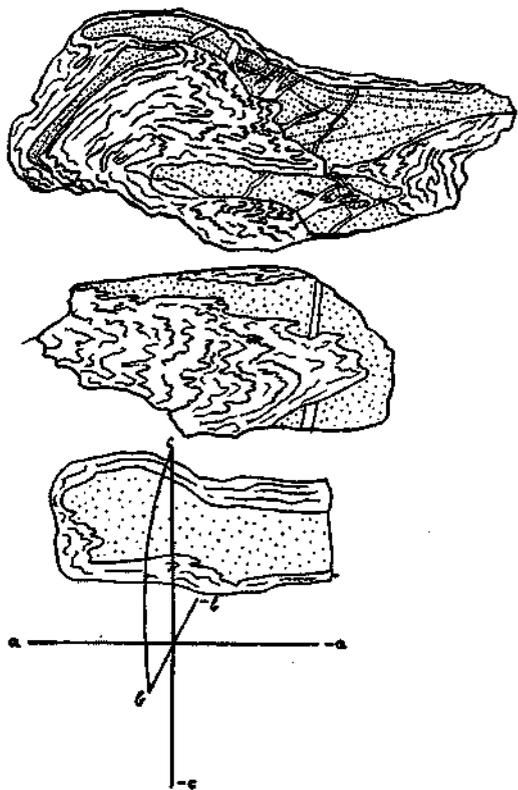


Fig. 18.  
 Marmor im Quarzphyllit, Wattenspitz Voldertal.

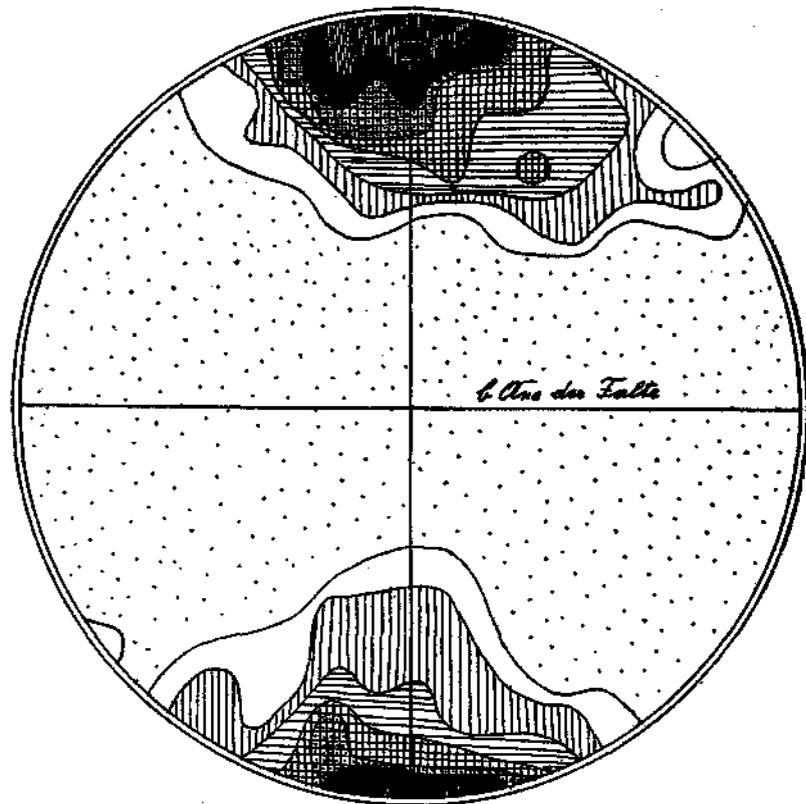


Fig. 19. 396 Pole der Kalzitlamellen mit Spur nahe *b*; Zeichenebene (*b c*) Jedes Korn = 1 Pol.  
 Marmor in Quarzphyllit, Wattenspitz Voldertal.

achtungen machen, welche die bei I bereits angeführten ergänzen und unsere Auffassung bestätigen.

Die Fadenporen durchziehen als weiße Fäden, welche etwa den Eindruck bereifter Spinnenfäden in Luft machen, vollkommen ungetrübte lamellierte Kalzitkristalle.

Sie zeigen keinen Parallelismus, sondern normalerweise windschiefe Lage gegeneinander, bisweilen rundliche Knicke und ganz weiche bogige Krümmungen; aber keine un stetige Verlagerung der Enden gegeneinander, etwa im Sinne einer Verwerfung oder Abscherung durch Schiebung im Kalzit, überhaupt keine un stetige Deformation.

Sie zeigen bisweilen Einmündung in die Intergranulare, Überschreitung derselben konnte bis jetzt nicht gefunden werden. Sie zeigen öfters ein ausgeschweiftes und ein stumpfes Ende (winziges Köpfchen).

Sie sind gleich gefüllt wie bisweilen die Intergranulare, anscheinend viel schwächer brechend als der Kalzit (Luft?). Sie sind untereinander von ganz verschiedener Dicke bis zur Grenze der Auflösbarkeit mit dem Mikroskop.

Gelegentlich erweisen sich die „Fäden“ bei Drehung als „Bänder“, welche auskeilen.

Von den typischen gekrümmten Fadenporen, welche keine gleichsinnige Schar bilden, gewinnt man bei intensivster intergranularer Beleuchtung Übergänge zu den Scharen unverkrümmter, sonst in jeder Beziehung den „Fäden“ gleichender Poren, welche der letzten Deformationsphase des Kristalls zuordenbar sind. Die Kalzite sind bis zur äußersten unauflösbaren Feinheit und Dichte, örtlich an der Grenze gegen Kalzit, nie aber gegen Quarz bis zu ganz allmählicher wässrigmilchiger Trübe gleichend, feinsten Schleiern zerglitten, in einer Mannigfaltigkeit und Dichte, welche meines Erachtens allerdings für jede beliebige Korndeformation ausreichen würde. Da hiebei das Korn zunächst keineswegs wie etwa in I den Eindruck mechanischer Zerpressung erweckt, sondern einem vollkristallinen Korne gleicht, ergibt sich für mich leider die Unmöglichkeit, aus einem solchen vollkristallinen Kalzitgefüge unter allen Umständen auf Rekrystallisation zu schließen (wenn die starke Formänderung des Stückes wie in unserem Falle feststeht). Meines Erachtens können unter geologischen Bedingungen Kalzitgefüge ohne oder mit geringem Verlust an Klarheit des Einzelkorns umgeprägt werden, ohne daß wir also schon allein um dieser Klarheit willen auf Rekrystallisation schließen dürfen. Für die Frage, ob alle diese Gleitflächenscharen in dieselbe Deformationsphase gehören, ist von Bedeutung: Gleichsinnige Scharen lassen sich bestimmt unterscheiden auch dort, wo es sich bei stärkster Vergrößerung noch um typische „Fäden“ handelt, so z. B. im Falle querlinierter Lamellen, deren „Lineale“ zugleich typische „Fäden“ sind. Daran daß alle Fäden letzten Endes von Blockierungsporen im Sinne von Ludwik und Tammann abzuleiten sind, ist hienach kein Zweifel mehr möglich.

Dreht man die geraden Fäden der querlinierten Lamellen in die Ebene, in welcher Tubusachse und Lichtquelle liegen, so werden die Knöpfe innerhalb und am Ende der Fäden als kleine, untereinander parallele Gleitflächen quer zum Faden erkennbar.

Die Verdunkelung durch Entfall des Gleitflächenreflexes bei Drehung ist gut und eindeutig zu sehen. Weder die geraden noch die krummen Fadenporen sind von der Gestalt rundlicher Schläuche, denn sie zeigen bei genügend intensiver Intergranularbeleuchtung und Drehung gegenüber derselben alle Spiegelstellungen; sie leuchten auf und erlöschen wieder.

Es gibt unterbrochene Fäden, welche, ihre gerade Richtung beibehaltend, plötzlich fast bis zur Sichtbarkeitsgrenze erlöschen, dann wieder gleichsinnig fortsetzen; wonach eben im Intervall eine andere Spiegelstellung vorwaltet.

Die geraden, die Lamellen querlinierenden Poren sind ursprünglich immer Schnittgerade zweier Translationsflächen von  $-\frac{R}{2}$  (also dessen Kanten oder die betreffenden des Zwillings). Sie können im weiteren Verlaufe der Deformation verbogen werden durch stetige Zerschörung, als deren Zeugen dann die erwähnten winzigen Gleitflächen quer zur Fadenrichtung auftreten. Das Lumen, ja sogar die Wegsamkeit aller dieser Poren sowie der Intergranularen ist durch die erwähnte limonitische Infiltration erwiesen.

Stellt man sich eine Kante von  $-\frac{R}{2}$  als lineare Pore vor, so wäre diese Pore durch Gleitung mit stetig wechselndem Betrag in der der Kante gegenüberliegenden Rhomboederfläche verkrümmbar usw.

Man kann also von der Verkrümmung der Poren zwar darauf schließen, daß die Pore zuerst als gerade Pore gebildet und dann verkrümmt worden ist, daß also die verknäuelten Fadenporen älter sind als die geraden, aber noch nicht ohne weiteres darauf, daß ihre Entstehung vor eine Rekristallisation des Kornes mit Neuorientierung des Gitters fällt.

Ich möchte also den betreffenden Passus im Zentralbl. f. Min., 1926, Abt. B, Nr. 5, S. 172, vorletzter Absatz („reliktisch die Rekristallisation überdauernd“) vorläufig einschränken.

Von großer Bedeutung für diese Frage wäre die meinen Institutsmitteln versagte Untersuchung, ob sich bei Prägung von Kalzit-einkristallen unter höheren Drucken nicht  $-\frac{R}{2}$  auch als Translations-ebene nachweisen läßt, worauf mir der bisherige, allerdings nicht endgültige Stand des Einblicks in geregelte Kalzittektonite zwingend hinzuweisen scheint.

Mit dem U-Tisch wurde in diesem Falle die Ebene (*b c*) eingemessen, u. zw. auf zweierlei Weise, wie dies Fig. 19 und 20 zeigen.

Im ersten Falle wurde von jedem Korn eine Zwillingslamelle  $-\frac{R}{2}$  eingemessen. U. zw. wurde, wenn das Korn deren mehrere hatte, jene Lamelle gewählt, deren Spur in (*b c*) der Spur von (*a b*) am nächsten lag.

Das Diagramm sagt also aus:

1. Jedes Korn besitzt eine Lamelle  $-\frac{R}{2}$ , welche mindestens mit dem

im Diagramm ausgesprochenen Genauigkeitsgrad in die Plättungsebene ( $a b$ ) eingestellt ist.

2. Diese Einstellung erfolgt mit einem sehr ausgesprochenen polaren Maximum.

3. Diese Häufung der Pole kann, was den peripheren Großkreis der Figur angeht, durch unser Ausleseprinzip zustande kommen, in der N-S-Richtung der Figur aber nicht durch das Ausleseprinzip, sondern höchstens durch Übersehen von Lamellen, welche mit der Tubusachse bei Ausgangstellung einen größeren Winkel als etwa  $45^\circ$  einschließen. Die optisch leicht erkennbaren Fälle derartig schief geschnittener Zwillinglamellen wurden aber eigens notiert und ihre Zahl viel zu gering befunden, um überhaupt irgendeine Änderung am Diagramm zu erzeugen (unter 396 Polen nur 6 derartige, nicht mehr einmeßbare Lamellen mit Spur nahe Spur von  $[a b]$ ).

Gleichwohl wurden nun bei einer zweiten, von der ersten ganz unabhängigen Durchmesser, überhaupt alle ersichtlichen Zwillinglamellen (also  $-\frac{R}{2}$ ), u. zw. für jedes Korn 2 bis 3, eingemessen (650 Pole).

Dabei wird unser zuerst verwendetes Ausleseprinzip für die Verteilung an der Peripherie des Diagramms ganz unwirksam. Dennoch blieb der unterbesetzte Äquatorialgürtel sehr gut erhalten.

Das Diagramm sagt aus:

1. Im Gefüge sind überhaupt nur Zwillinglamellen zur Ausbildung gekommen, deren Pole nicht in den breiten Äquatorialgürtel fallen. Auch von den allenfalls durch den Schleifakt erzeugten Lamellen gilt dies; wie denn überhaupt dieser Akt weder die durch die Körnerorientierung gegebene Regelung beeinträchtigen kann, noch den Schluß einschränken, daß bei der Gesteinsdeformation überhaupt nur solche Zwillinglamellen zustande kamen, deren Pole in das überbesetzte Gebiet des zweiten Diagramms (Fig. 20) fallen.

Bei Aufnahme dieses Diagramms kam zur Beobachtung, daß sich die Zwillinglamellen in ganz genau gleicher Richtung als scharfe Risse ohne Lamelle in Nachbarkörnern festsetzen können; dann wieder als Lamelle fort im nächsten Nachbar. Nahezu gleiche Orientierung von Nachbarkörnern ist häufig. Die der  $s$ -Fläche ( $a b$ ), der Plättungsfläche, am nächsten liegenden Lamellen sind immer die zahlreichsten und deutlichsten.

Auch im zweiten Diagramm bleibt die polare Häufung deutlich, und fehlen zonare Häufungen, wie solche eine Regelung (0001)  $\parallel (a b)$  bedingen würde.

Die überbesetzte Kalotte reicht nun etwa  $45^\circ$  über den Pol herunter gegen den Äquator, wie es der Stellung der beiden anderen  $-\frac{R}{2}$ -Flächen eines Kornes entspricht, dessen dritte Fläche  $-\frac{R}{2}$  genau in  $(a b)$  liegt.

Man kann also schon wegen des zweiten Diagramms nicht etwa sagen, daß die Regel (0001)  $\parallel (a b)$  durch unsere Auslese der zu  $(a b)$  sub-

parallelen Flächen  $-\frac{R}{2}$  maskiert sei. Auch wurden lamellierte  $-\frac{R}{2}$  mit Schiefen bis zu  $60^\circ$  und mehr zu  $(a\ b)$  vermessen. Es ist auch von den  $-\frac{R}{2}$  im Falle  $(0001) \parallel (a\ b)$  wegen der geringen Größe ( $26^\circ$ ) des Winkels zwischen  $-\frac{R}{2}$  und  $(0001)$  unbedingt anzunehmen, daß die Lamellen funktioniert und diesfalls die der Regel  $(0001) \parallel (a\ b)$  zukommende ringförmige Überbesetzung um den Pol nur verstärkt hätten. Die Regel  $(0001) \parallel (a\ b)$  ist also für unseren Fall auszuschließen.

Halten wir das Lot auf  $-\frac{R}{2}$  fest im N-Pol der Lagenkugel und rotieren das Korn, so beschreibt die  $c$ -Achse einen Kegel mit  $2 \times 26^\circ$  Öffnung. Schnitte parallel zu dem so  $\left(-\frac{R}{2} \parallel s\right)$  geregelten Gefüge würden also noch sehr schön die gemeinsame Reaktion der Körner mit dem Hilfspräparat zeigen. Diese scheiterte am Weiß höherer Ordnung der Körner. Jedoch war eine deutliche Verdunkelung des Gefügeschnittes zwischen + Nikols bei der Einstellung von  $(a\ b)$  in eine Schwingungsebene der erste qualitative Hinweis auf die Regelung des Gefüges und durch das U-Tisch-Diagramm später erklärbar.

Von 1000 Polen entfallen in Fig. 19 und 20 auf 1% der Halbkugel-  
fläche:

weit punktiert . . . . .	0—5
weiß . . . . .	5—10
weit vertikal . . . . .	10—20
weit horizontal . . . . .	20—30
weit quadriert . . . . .	30—40
quadriert punktiert . . . . .	40—50
schwarz . . . . .	50—70
eng vertikal . . . . .	70—90
eng horizontal . . . . .	über 90.

### III. Marmor + Quarzit im Innsbrucker Quarzphyllit.

Die Falte besteht aus  $ss$ -Lagen von reinem Quarzgefüge, von reinem Kalzitgefüge und von Quarz-Kalzit-Gefüge und etwas Glimmer, welche gemeinsam deformiert wurden, also unter genau gleichen Bedingungen.

Die Falte ist weder aus parallelen noch aus kongruenten  $ss$ -Bögen aufgebaut; die Mächtigkeiten ihrer Lagen in  $a$  sind nicht konstant. Wie die Figur 21 zeigt, sind die kalzitischen Lagen über die quarzitischen (eng punktierter Kern der Falte) wie Häute zu spitzen Scharnieren hinausgezogen, bzw. gepreßt. Die Falte in dieser Form ist weder eine Biegefalte noch eine Scherfalte;  $(a\ c)$  ist Symmetrieebene,  $(a\ b)$  nicht, bzw., wie wir sehen werden, nicht mehr. Das feine, schon im Anschliff sichtbare Rißsystem auf  $(a\ c)$  im Kalzitgefüge horizontal verlaufend, als Spur einer Flächenschar  $s_2$  subparallel  $(b\ c)$ , ist in Fig. 21 eingezeichnet.

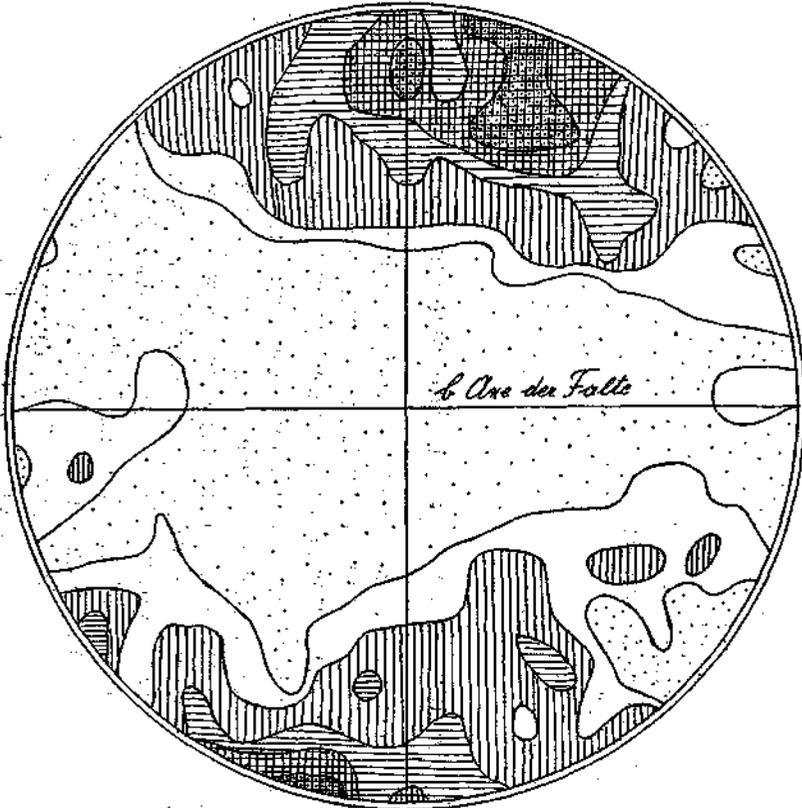


Fig. 20. 659 Pole aller sichtbaren Kalzitlamellen, 2—3 Pole pro Korn; Schnitt (b c).  
Marmor im Quarzphyllit, Wattenspitz Voldertal.

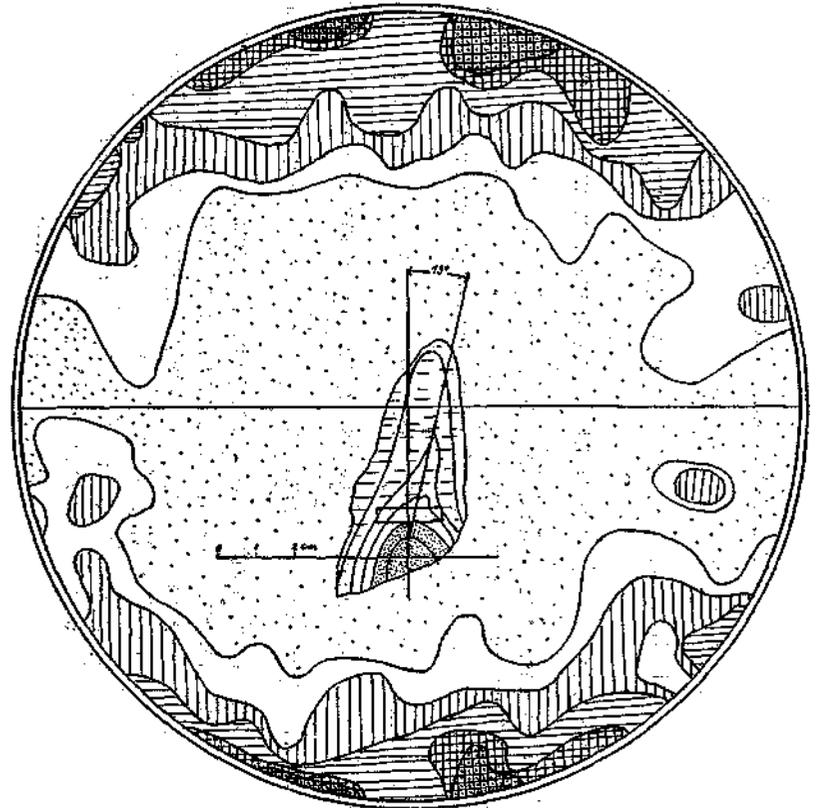


Fig. 21. 385 Pole deutlicher Kalzitlamellen, wenigstens 1 pro Korn.  
Marmor und Quarzit (punktiert) im Quarzphyllit, Wattenspitz Voldertal.

Das reine Quarzgefüge zeigt schwach verzahntes Mosaik etwas undulöser Körner mit Böhmischer Streifung.

Quarz in Kalzit zeigt die häufige runde Tropfenform. Kalzit bildet glattes Mosaik aus lebhaft lamellierten Körnern.

Nur in letzterer Hinsicht zeigt das Gefüge also etwas deutlichere Anzeichen einer der Umformung keineswegs entsprechenden nachkristallinen Deformation. Die Falte ist wesentlich vorkristallin deformiert in bezug auf Quarz und auf Kalzit. Das ist das Bild. Wie bei der vorigen Falte lasse ich es derzeit dahingestellt, wie weit plastische Korndeformation an diesem Bilde beteiligt ist, was den Kalzit anlangt. Wie denn überhaupt die sehr schwierigen Kriterien, hierin eingehend zu unterscheiden (vorkristallin deformiert, rekristallisiert oder tektonoplastisch deformiert), einer eigenen Betrachtung vorbehalten bleiben.

Die Untersuchung mit dem U-Tisch ergab zunächst durch Teildiagramme die vollständig homogene Regelung auch dieser Falte.

Fig. 21 enthält ausgewählt 385 Pole deutlicher Kalzitlamellen  $\left(-\frac{R}{2}\right)$ ,

mindestens eine pro Korn. Verwendet wurden alle überhaupt deutlich sichtbaren.

Auf Grund der bisherigen Beispiele erkennen wir sofort, daß die Lamellen des Kalzits in die oben  $s_2$  genannte Flächenschar eingeregelt sind, ganz ebenso wie bisher in die letzt aufgeprägten  $s$ -Flächen der Marmore. Diese Anordnung kann zur Anlage der Falte in keine Beziehung (etwa als Einregelung in Gleitbretter) gebracht werden, wohl aber sehr gut zum letzten Deformationsakt der bereits fertigen Falte, welcher dieselbe durch die in Fig. 21 gemessene differentiale Verschiebung die Symmetrieebene ( $a b$ ) kostete. Diese Verschiebung erfolgte nicht mit konstantem relativem Verschiebungsbetrag, sondern mit wechselnden Verschiebungsbeträgen, deren Maximum noch in die Falte fällt, so daß zugleich eine Verkrümmung der Falte durch beginnende Umscherung erfolgt ist. Wir sehen also den Embryo einer „gefalteten Falte“, entstanden durch Umscherung einer Faltenform (welche selbst nicht als Gleitbrettfalte erklärbar ist) mit stetig geändertem Betrag der Relativverschiebung. Die beginnende Faltung dieser Falte ist also die Verkrümmung einer lediglich als mechanisch unwirksame Zeichnung bereits vorgefundenen primären Falte aus  $ss$  durch ein Scherflächensystem. Dieses ist als  $s_2$ -Schar schon im Anschliffe und sehr gut als unterbesetzte Äquatorialzone im Diagramm erkennbar. Wie in Falte I erkennen wir, daß recht geringe, diesmal meßbare Beträge der Relativverschiebung schon für eine korrekte Regelung der Kalzite  $-\frac{R}{2} \parallel s_2$

ausgereicht haben. Der Kalzit ist also nicht in die Plättungsebene ( $a b$ ) der stark geplätteten Falte, sondern quer dazu, etwa in ( $b c$ ), eingeregelt.

Der Quarz wurde, jeweils in Teildiagrammen zum Nachweis der Homogenität der Regelung, in zwei Gruppen aufgenommen ( $c$ -Achsen der Quarze).

Die eine (Fig. 22) zeigt reines Quarzgefüge, also das Verhalten von „Quarz in Quarz“ (390 Pole), die andere (Fig. 23) zeigt „Quarz in

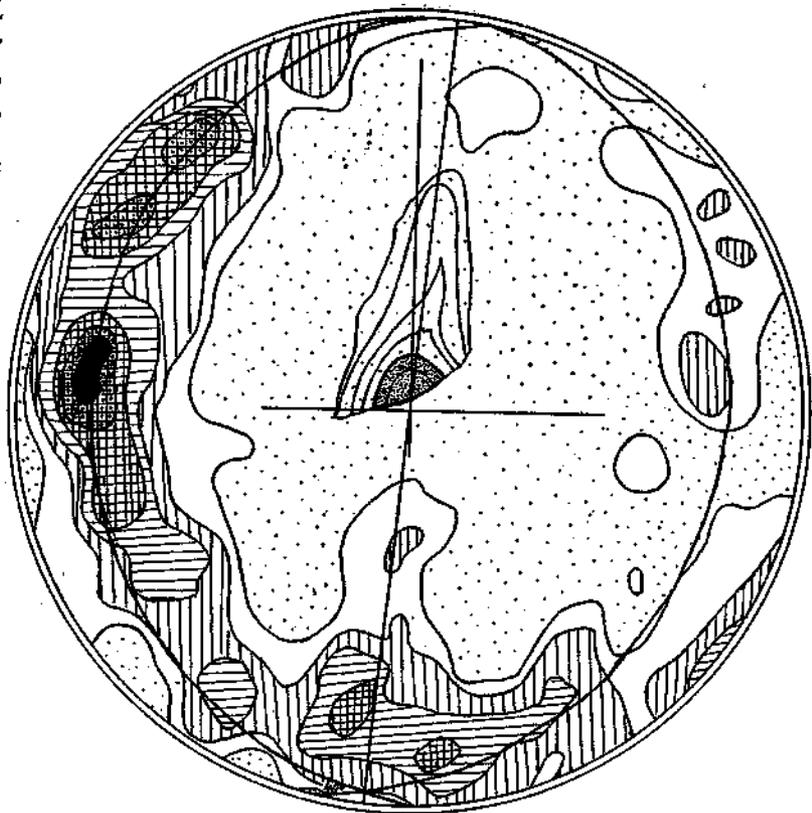


Fig. 22. 390 Achsenpole von Quarz in Quarz.  
Marmor und Quarzit im Quarzphyllit, Wattenspitz Voldertal.

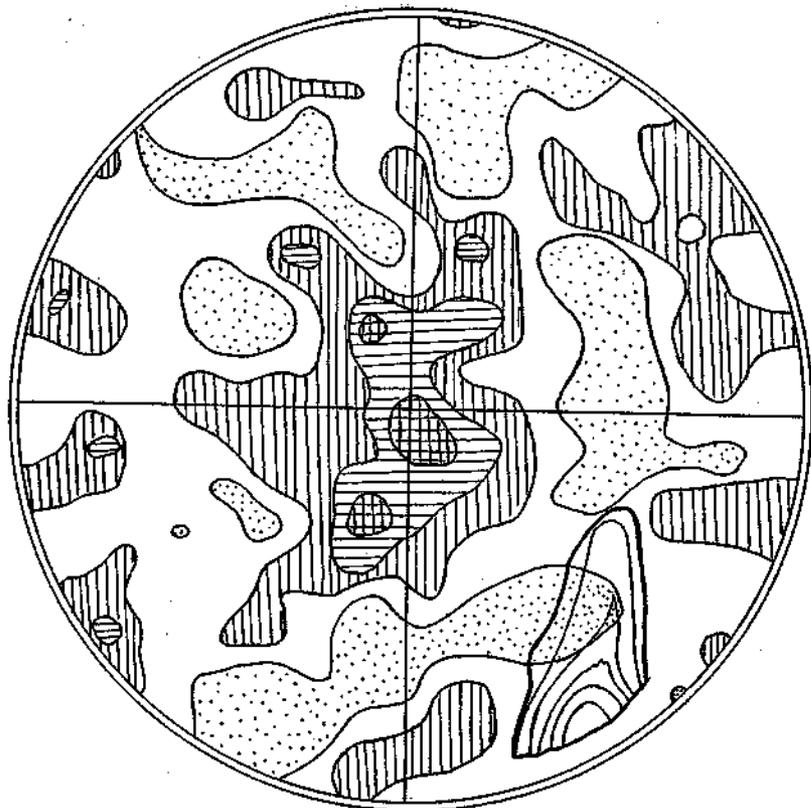


Fig. 23. 470 Achsenpole von Quarz in Kalzit.  
Marmor und Quarzit im Quarzphyllit, Wattenspitz Voldertal.

Kalzit“ (470 Pole) und zwar nur solche tropfenförmige Körner, welche im Schlicke rings von Kalzit umgeben liegen. Der Kalzit zeigt hierbei lebhaftige Stauchung an den Quarzkörnern, im großen Gegensatz zum Quarz-Kalzit-Gefüge von II, und ausgezeichnete Fadenporen.

Quarz in Quarz zeigt seine Achsenmaxima auf der Lagenkugel als zwei Großkreise, deren Schnittgerade gut mit der  $a$ -Achse der Falte zusammenfällt, wenn man die seitliche Verschiebung in  $s_2$  rückgängig macht, also mit dem  $a$  der noch höchstsymmetrischen Falte. Ferner schließen die Großkreise mit ( $a c$ ) je  $20^\circ$  links und rechts, miteinander also  $40^\circ$ , ein.

Dies ist ein Verhalten, welches wir für homogen geregelte Quarzfalten typisch finden werden. Auch in Fällen, wo das begleitende Kalzitgefüge mit  $-\frac{R}{2}$  in ( $a b$ ) eingeregelt ist, so daß sich mit Sicherheit das

Quarzgefüge und das Kalzitgefüge einem einmaligen, parallel zu ( $a b$ ) plättenden Faltungsakt zuweisen läßt. Das Gefüge der Falte III wird hienach als ein „mehrfach geregeltes“ aufgefaßt. Während eines letzten Deformationaktes ( $s_2$ ), welcher mit dem Zustandekommen der Faltenform nichts zu tun hat, sondern nur mit deren Verkrümmung (stetiger Umscherung), in den Keim einer „gefalteten Falte“ erfolgte die Umregelung des empfindlicheren Kalzitgefüges in  $s_2$ , während dem Quarz in Quarzgefüge die der ersten Faltenanlage gemäße Regelung reliktsch erhalten blieb. Wir haben also ein Beispiel für die zeitliche Gliederung eines Deformationsaktes lediglich durch U-Tisch-Analyse.

Das Diagramm Quarz in Kalzit (Fig. 23) zeigt eine ebenfalls typische, ganz andersartige Quarzgefügeregelung: das Auftreten eines Maximums um den Pol der  $b$ -Achse auf der Lagenkugel. Dieses Maximum, das also gerade in das unterbesetzte Feld der Quarz-in-Quarz-Regel hineinfällt, ist von einem unterbesetzten Ring umgeben. Auf diesen folgt wieder konzentrisch ein überbesetzter Großkreis, der möglicherweise noch den Großkreisen der Regel Quarz in Quarz entspricht. Für eine genauere Definition dieses unverkennbaren, deutlichen Einflusses eines Gefügegenossen (Kalzit) auf eine passive Regelung bedarf es weiterer Untersuchungen.

Die mit dem U-Tisch analysierte Falte erlaubte also, folgende Begriffe einzuführen, bzw. zu belegen:

Mehrfach geregeltes Gefüge einer homogen geregelten Deformation. Stetige Umscherung einer höchst symmetrischen Falte (Nichtgleitbrettfalte) in den Embryo einer „gefalteten Falte“.

Hiezu korrelierte Umregelung des unter den gegebenen Bedingungen empfindlicheren Kalzitgefüges und „reliktsches“ Verbleiben der der ersten Faltenanlage korrelierten Quarzregelung; geringere Empfindlichkeit des Quarzgefüges.

Die „Zwei-Gürtel-Regel“ des passiv geregelten Quarzes, Einfluß des Gefügegenossen Kalzit auf diese Regel, welche in eine „Quarz-in-Kalzit-Regel“ gänzlich geändert wird.

Zeitliche Gliederung der Deformation von mehrfach geregelten Gefügen mit Hilfe der U-Tisch-Analyse.

Promille der in Fig. 21, 22, 23 auf 1% der Halbkugel entfallenden Pole:

weit punktiert . . . . .	0—5
weiß . . . . .	5—10
weit vertikal . . . . .	10—20
weit horizontal . . . . .	20—30
weit quadriert . . . . .	30—40
quadriert, punktiert . . . . .	40—50
schwarz . . . . .	über 50

#### IV. Phyllitgneis des „Altkristallin“; Himmelreich bei Mauls in Südtirol.

Wechsel von Quarz- und Kalzitlagen im Gneisphyllonit.

Die Form der Falte ist durch Fig. 26, 27 gegeben, ihre Symmetrie durch die Symmetrieebene ( $a c$ ). Die Falte wurde gewählt, weil ihr Aussehen, namentlich der Verlauf der Strömung  $\parallel b$  auf den Schenkeln (ähnlich Falte I), ein besonders gutes Zusammenfallen der Hauptrichtungen des geregelten Gefüges (Gefügeachsen) mit den Achsen der Faltenform versprach. In der Tat gibt, wie man an der Hand der für diesen Zweck etwas ausführlicheren Darstellung in Diagrammen sehen wird, diese Falte Gelegenheit, mit Rückblick etwa auf Falte I, eine grundsätzliche Unterscheidung unter homogen geregelten Falten einzuführen, welche man dadurch erhält, daß man jeweils die Gefügeachsen und die Achsen der Faltenform daraufhin betrachtet, ob sie ganz oder teilweise oder gar nicht zusammenfallen. Die beiden Extreme „ganz“ und „gar nicht“ wollen wir hiemit als vollkommen homoachse Falte und als vollkommen heteroachse Falte in unsere Begriffe einführen und ferner von „heteroachsen Falten in Bezug auf...“ sprechen. So z. B. wäre die Schmidtsche Gleitbrettfalte als vollkommen homoachse Falte denkbar, in welcher die auch als Gefügeachse ausgesprochene Bewegungsrichtung  $x$  (vgl. hierzu auch Einleitung) mit  $a$  zusammenfällt; aber wie schon aus den Erörterungen Schmideggs hervorgeht auch als teilweise heteroachse Falte, indem  $x$  nicht mehr  $\perp b$  steht, sondern in der Ebene ( $a b$ ) hievon abweicht.

Wir haben für heteroachse Falten bereits Beispiele gegeben und stellen das gegenwärtige als Beleg für eine ziemlich vollkommen homoachse Falte vor, deren Auffassung im Sinne Schmidts von der Gefügeanalyse aus zwar nicht eindeutig zwingend zu erweisen, aber in keiner Beziehung abzulehnen, sondern nur sehr wahrscheinlich zu machen ist. Um so wahrscheinlicher, als wir ja die Tatsache stetiger Umscherung einer Vorzeichnung mit variablem relativem Verschiebungsbetrag und einem Maximum desselben im betrachteten Bereich schon durch das vorhergehende Beispiel belegt haben.

Vor der U-Tisch-Analyse zunächst einiges das stoffliche Gefüge betreffende. Die stoffliche Feinschichtung bezeugt sich in der lagenweisen Verteilung von Chlorit, Kalzit, Quarz und Muskovit; bei letzterem nur insofern als er in den kalzitischen Lagen auch etwas häufiger ist. In der Verteilung von Quarz und Kalzit treten aber außerdem sekundäre

Lagen hervor quer zu den Bogen der sedimentären Feinschichtung ss, also ganz gleich wie der Glimmer in der Falte I (siehe Fig. 14, 15).

Das stoffliche Gefüge ist also

1. primäre Feinschichtung ss in Bogen geordnet,
2. sekundäre Schichtung durch Scherung schief zu ss (ein Sonderfall stofflicher tektonischer Entmischung des Gesteins wie in D).

Wir haben dann das Intergranulargefüge (Kornumrisse) zu beachten und zuletzt das „Richtungsgefüge“, welches eine Regelung ist.

Größere Chlorite und etwas Muskovit liegen als Glimmergeflechte nachkristallin deformiert und ohne jedes Anzeichen von Rekristallisation in den Faltenbogen. Sie sind korrelat zum Faltungsakte nachkristallin deformiert, gleichviel ob der Faltungsakt als Gleitbrettfaltung oder anders vor sich ging. An der Grenze gegen Kalzit und Quarz sieht man mit starken Vergrößerungen folgendes: Die Chlorite sind grobmechanisch in die s-Flächen parallel ( $a b$ ), welche auch durch oblonge Form der Quarzkörner bezeichnet sind, hineingewalzt. Es zerfällt überhaupt die Chorithaut bei stärkerer Vergrößerung in einzelne zwischen die Quarzkörner gepreßte Scheiter mechanisch deformierten Chlorits. Es handelt sich um eine stufige Chlorithaut, deren einzelne Kristallite um eine Achse parallel zur Achse  $b$  mehr oder weniger aus dem ss herausrotiert sind, ein Verhalten, welches man sich am besten anlässlich der Gleitung parallel ( $a b$ ) entstanden denken kann. Während der Chlorit am Quarz hiebei durchwegs wie zwischen Zangen gestreckt und gequält ist, läßt der Quarz keine andere irgend bemerkenswerte mechanische Beeinflussung als Böhmische Streifung und etwas Undulation wie überall, auch ferne vom Chlorit, erkennen. Bisweilen heben sich betontere Scherflächen  $\parallel (a b)$  heraus durch feinkörnigen unausmeßbaren Quarzmörtel, aus welchem sowohl Glimmer als Karbonat tektonisch entfernt sind. Dies läßt sich unzweifelhaft feststellen, da die betreffende Scherfläche glimmerreichere und kalzitreichere Lagen quer überschneidet.

Kleine Glimmerkristalle liegen allenthalben im Gefüge in den spiegelklaren Quarzen und an deren Grenzen. Weder die Quarze (mit den unversehrten Glimmern, welche sie beherbergen) noch diese Glimmerkristallite zwischen den Quarzen haben nach Kristallisation der Glimmer noch mechanische Störung erfahren. Diese Glimmerkristallisation der kleinen Muskovite und Chlorite hat also die letzte Deformation überdauert, während Quarz ganz schwache, Kalzit aber deutliche Spuren nach kristalliner Deformation zeigen, beide aber ganz unzulänglichen Grades, um als ausreichende rupturale Teilbewegung für die Faltenbildung zu gelten. Das Quarzgefüge zeigt im Schnitte  $\parallel (a c)$  und  $\parallel (b c)$  deutlich oblonge Körnerform  $\parallel a$ . Die Kontur des Einzelkorns ist an den Grenzen subparallel ( $b c$ ) weit stärker verzahnt als an den Grenzen subparallel ( $a b$ ), was schon direkt auf Differentialbewegung in ( $a b$ ) hinweist. Gegenüber den hartkonturierten, mit unversehrten Zähnen verzahnten, nicht merklich nachkristallin deformierten Quarzen, welche Quarze als Nachbarn haben („Quarz-in-Quarz“-Gefüge), zeigen die Quarze im „Quarz-in-Kalzit“-Gefüge weiche, runde, lappige, bauchige Kontur und viel schwächer wahrnehmbare, oft gar keine Verlängerung in ( $a b$ ).

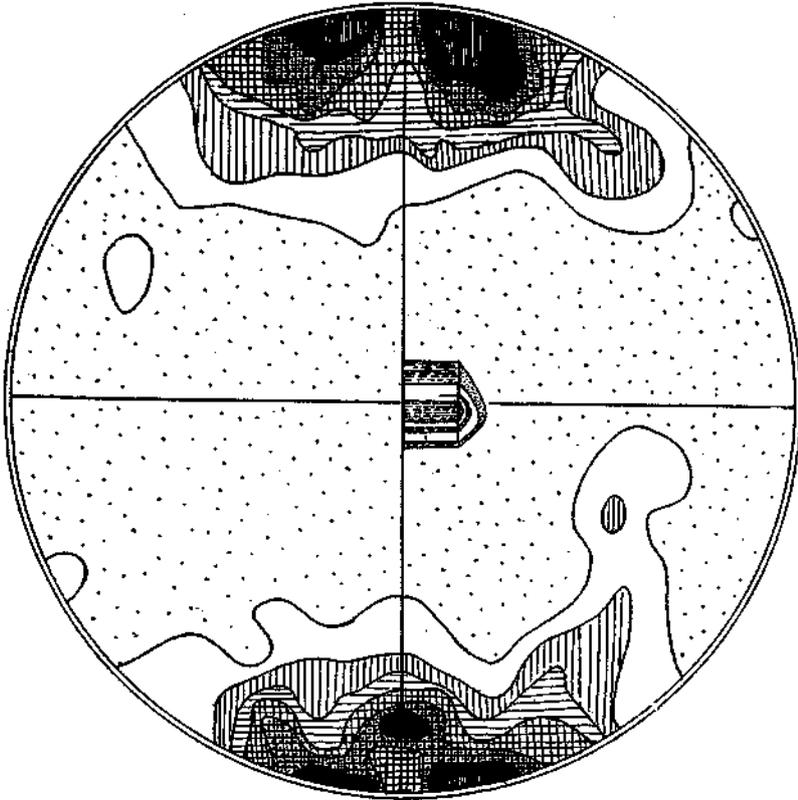


Fig. 24. 330 Kalzitlamellenpole, alle sichtbaren Lamellen wenigstens 1 pro Korn.  
„Phyllitgneis“ mit Karbonat; Himmelreich bei Mauls.

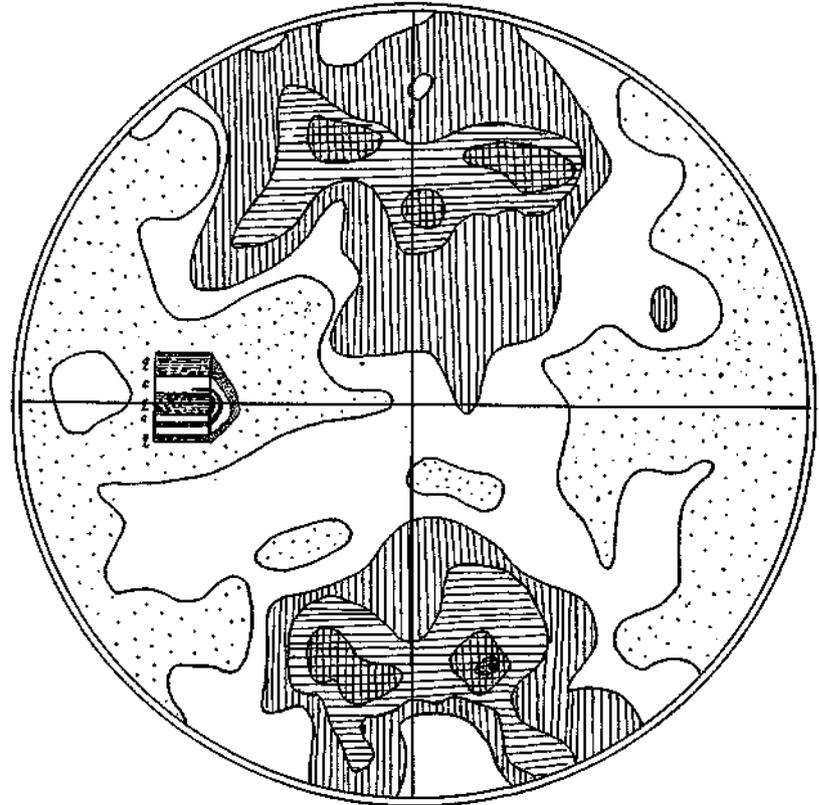


Fig. 25. 416 Pole von Kalzitachsen (*c*-Achse).  
„Phyllitgneis“ mit Karbonat; Himmelreich bei Mauls.

Kalzit bildet das letzte, oft als einheitliches Korn fein verzweigte Zement zwischen den Quarzkörnern. Er ist der Bestandteil, welcher alle anderen, sich gänzlich deren Konturen anpassend, zementartig umgibt, sowohl Quarz als Glimmer. Es ist meines Erachtens ausgeschlossen, daß ein solcher, als Zement feinst verzweigter Kristall mit seinen oft sehr geringfügigen Zeichen von Kaltreckung (viel geringer, als man sie in etwas stärker gewalzten Marmoren trifft) die vorliegende Form ohne Rekristallisation nach der Faltenbildung angenommen habe. Ich sehe in diesen Kalziten einen Beweis für die Rekristallisation der im Quarz-Kalzitgefüge deformierten Kalzite.

#### U-Tisch-Analyse:

Durch Teildiagramme ist die Falte als eine in bezug auf Quarz in Quarz, Quarz in Kalzit und Kalzit homogen geregelte nachgewiesen; die inhomogene Regelung der Glimmer, sofern sie noch als Geflechte im  $ss$  der Faltenbogen liegen, wurde schon erwähnt. Die Aufnahme aller sichtbaren Kalzitlamellen auf  $(a\ c)$  (Fig. 29, wenigstens 1 pro Korn; 216) und auf  $(b\ c)$  (Fig. 24, wenigstens 1 pro Korn; 330) ergibt die Einregelung von  $-\frac{R}{2}$  in  $(a\ b)$ , die Plättungsfläche der Falte, wie wir das schon

kennen. Nun wurden auf  $(b\ c)$  auch die  $c$ -Achsen des Kalzits aufgenommen (Fig. 25; 416). Dabei ergibt sich nun, daß diese Achsen nicht auf einem Ringe in der Entfernung von  $26^\circ$  vom Maximum der Lamellenpole gleichmäßig verteilt liegen, wie dies einer Regelung des Kalzitgefüges

lediglich nach der Regel  $-\frac{R}{2} \parallel (a\ b)$  entspräche bei sonstiger Rotationsfreiheit der Kristalle, sondern die Achsen bilden auf diesem Ringe zwei Maxima mit einer Winkeldistanz von  $110^\circ$  bis  $120^\circ$  auf dem N-S-Großkreis des Diagramms, auf welchem sie, in Ebene  $(a\ c)$  der Falte, liegen.

Die Kalzite sind also mit  $-\frac{R}{2} \parallel (a\ b)$  eingeregelt, für welches  $s$  bereits die Kriterien für Teilbewegung in  $s$  angeführt wurden. Außerdem aber sind die Körner noch so angeordnet, daß ihre Achsenmaxima in  $(a\ c)$  liegen, u. zw. mit solchen Winkelabständen, daß wir uns als Vertreter des geregelten Kalzitgefüges annäherungsweise einen Kalzitzwilling denken

können, dessen  $-\frac{R}{2}$  mit  $(a\ b)$  und dessen (beide Achsen enthaltende) „Achsenebene“ mit  $(a\ c)$  zusammenfällt. Bei dieser Aufstellung des Kalzitkristalls fällt dann sein  $\eta_1$ , also seine Bewegungsrichtung beim Schiebungs Vorgang, mit  $a$  zusammen.

Unter diesen Umständen scheint mir der Schluß berechtigt, daß wir auch in diesem Falle nicht nur die Gleitebene  $s = (a\ b)$  des Gefüges, sondern auch die letzte (möglicherweise einzige) Gleitrichtung in  $s$ , wenn auch nur als Gerade ohne Richtungssinn, ermittelt haben. Diese Bewegungsrichtung ist  $a$  und es ist durch unsere Diagramme die Falte als eine in bezug auf die homogene passive Kalzitregelung vollkommen homoachse Falte gekennzeichnet.

Lediglich als eine Variante in der Methode ist in Fig. 26 die einleitend erörterte Methode direkter Einmessung der Pole der Achsenebenen.

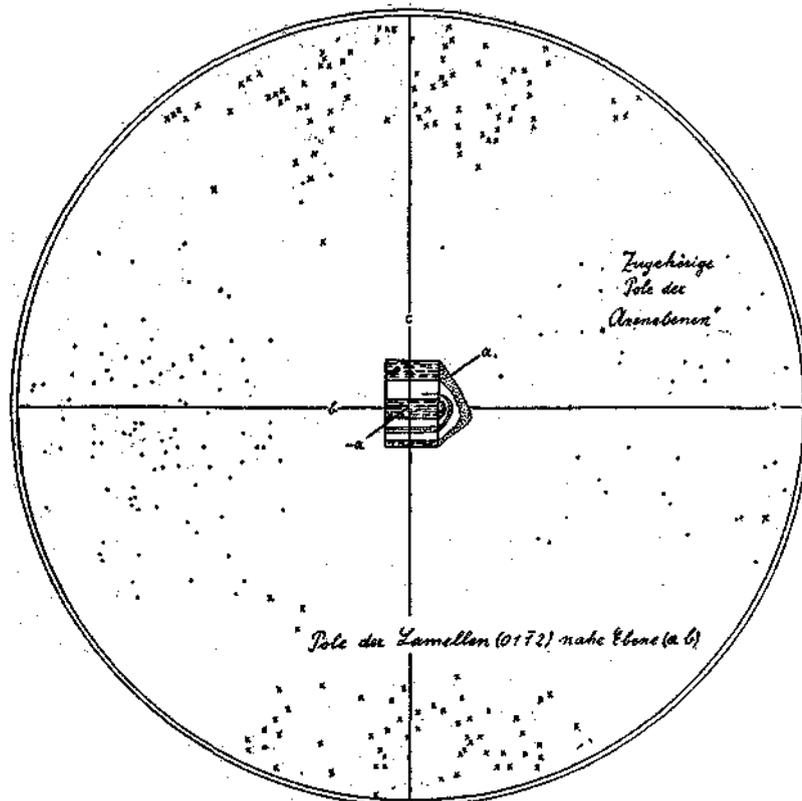


Fig. 26. Kalzitwillinge.  
„Phyllitgneis“ mit Karbonat; Himmelreich bei Mauls.

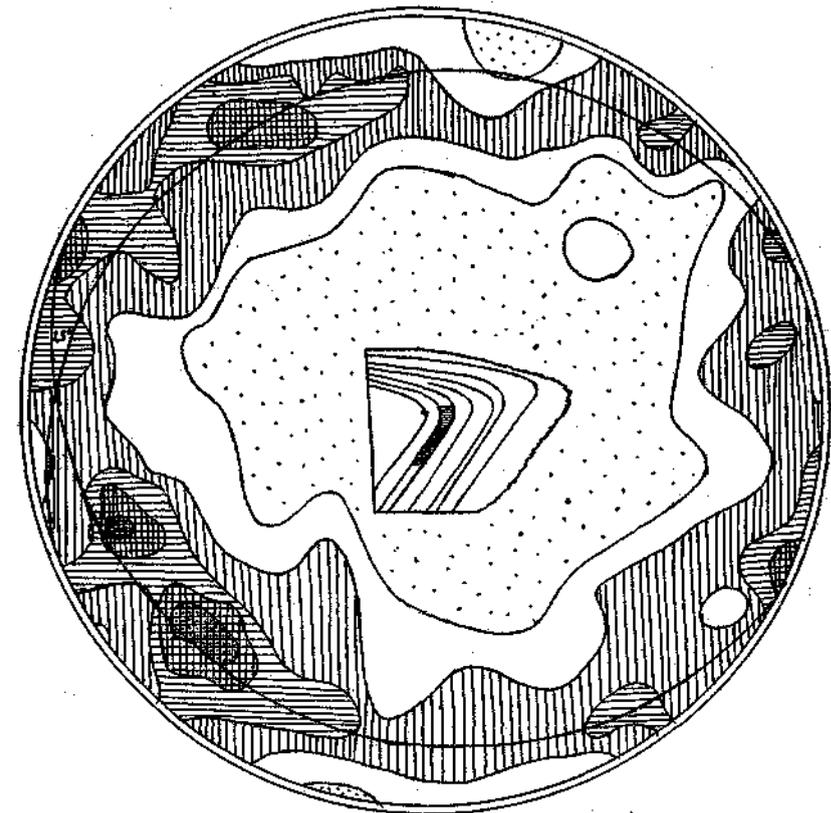


Fig. 27. 340 Körner, Quarz in Quarz.  
„Phyllitgneis“ mit Karbonat; Himmelreich bei Mauls.

am selben Schnitte illustriert, zugleich allerdings auch die Überlegenheit der ersten Methode, wenn wie im vorliegenden Falle nur eine geringe Zahl von Achsenebenen eingemessen wird und vielleicht auch weil die einleitend als wünschenswert erachtete weitere Drehtischachse fehlte. Wahrscheinlich wurde eine unabsichtliche Auslese in den Körnern getroffen, und besteht für die ausgelesene und eingemessene Kategorie ganz dieselbe von  $a$  abweichende Bewegungsrichtung, welche auch in Fig. 25 als etwas asymmetrische Einstellung des Achsenmaximums gegenüber N—S zu Worte kommt. Das Diagramm Fig. 26 ist gegenüber der Einzeichnung der Falte irrtümlich um  $180^\circ$  in der Zeichenebene verdreht.

Aus dem Quarzdiagramm, Fig. 27, ergibt sich, daß wiederum dieselbe Regel besteht wie für Falte III. Die wieder ungleichmäßig „insular“ besetzten Großkreise schneiden sich in  $a$ , liegen nahe links und rechts von ( $a$   $c$ ) und schließen miteinander  $25^\circ$  ein. Diesmal aber kennen wir  $a$  mit Hilfe unserer Analyse des Kalzitgefüges in der Falte mit hoher Sicherheit als Bewegungsrichtung in den Scherflächen der Falte.

Ebenfalls von Falte III her kennen wir das „Quarz-in-Kalzit“-Gefüge. Dessen Maximum um den Pol von  $b$  (Fig. 28) ist generell ganz dasselbe wie in Fig. 23 in einer ganz anderen Gesteinswelt, so daß wir auch diese „Quarz-in-Kalzit“-Regel als eine in Einzelheiten noch nicht näher deutbare, gesetzmäßige Einstellung der  $c$ -Achsen ungefähr quer zur Bewegungsrichtung erfassen können; vielleicht hängt diese Einstellung von einer etwas größeren Länge der Körner nach  $c$  ab und bedeutet die mechanische Einstellung der Längsachse in die Faltenachse. Ebenfalls bemerkenswert ist der reiner ausgesprochene Bau des Quarz-in-Kalzit-Diagramms gegenüber dem von Falte III: Das dort neben dem zentralen noch sichtbare Gürtelmaximum fehlt, ist also, wie wir vermuteten, untypisch für die Quarz-in-Kalzit-Regel und bedarf daher nur fallweiser, nicht genereller Erklärung.

Die Falte ist auch in bezug auf die Regelung von Quarz in Quarz und von Quarz in Kalzit homogen und homoachs.

Wir betrachten nun noch Chlorit und Muskovit im Mittelfeld des Schnittes ( $b$   $c$ ). Es wurden für die U-Tisch-Analyse getrennt die kleinen, nicht mechanisch deformierten Muskowite in Teildiagrammen für Muskovit in Quarz und Muskovit in „Quarz + Kalzit“, ferner die mechanisch deformierten Glimmergeflechte in  $ss$  in ebensolchen Teildiagrammen. Es ergab sich ein sehr deutlicher Unterschied zwischen unversehrten Glimmern und Glimmergeflechtem. Die auf (001) gerichteten Lote pendeln bei ersterer Kategorie nur um  $20$ — $30^\circ$ , bei letzterer um  $70^\circ$  aus der Ebene ( $a$   $c$ ).

Die genaue Einmessung der Winkel, welche die deformierten Chlorite mit der Ebene ( $a$   $b$ ) bilden, ergab, daß sie, wie schon bemerkt, ziemlich genau in der Zone der Achse  $b$  rotierend den Faltenbogen folgen, im größten Gegensatz zum homogen geregelten Kalzit und Quarz. Man sieht auch in diesem Falle wie bei der Phyllitumfaltung, daß die Glimmer mit (001) ein Schmiermittel für Gleitung in  $ss$  bilden.

Während die Falte in bezug auf diese Chlorite inhomogen geregelt ist, ergab die Einmessung der messerscharfen Muskovitschuppen ohne

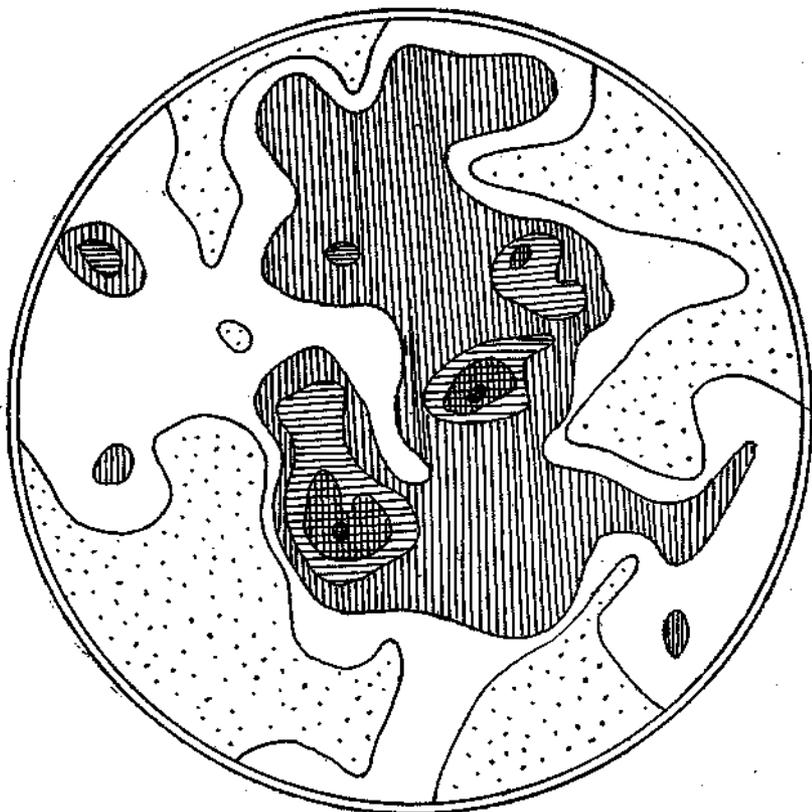


Fig. 28. 118 Körner, Quarz in Kalzit.  
„Phyllitgneis“ mit Karbonat; Himmelreich bei Mauls.

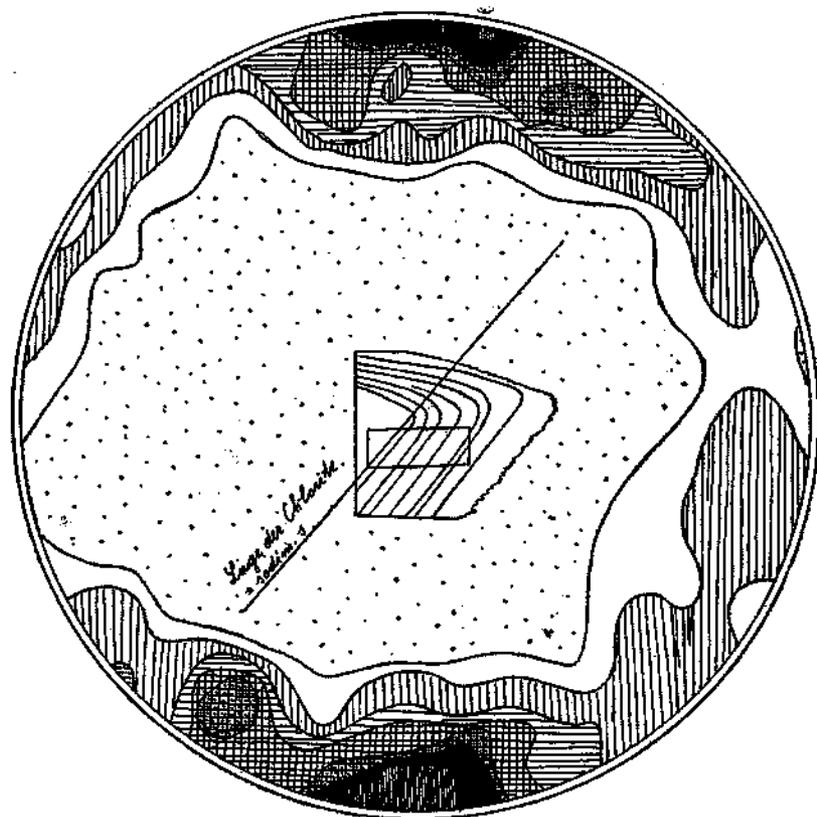


Fig. 29. 216 Kalzitlamellen, alle sichtbaren wenigstens 1 pro Korn.  
„Phyllitgneis“ mit Karbonat; Himmelreich bei Mauls.

mechanische Deformation deren homogene Einregelung in die Ebene (*a b*), wonach sie mit den Chloriten Winkel bis zu  $40^\circ$  einschließen.

Von 1000 Polen entfallen auf 1% der Halbkugel in Fig. 24 bis Fig. 29:

weit punktiert . . . . .	0—5
weiß . . . . .	5—10
weit vertikal . . . . .	10—20
weit horizontal . . . . .	20—30
weit quadriert . . . . .	30—40
quadriert punktiert . . . . .	40—50 („über $40^\circ$ “ in Fig. 25)
schwarz . . . . .	50—60 (50—70 in Fig. 29)
eng vertikal . . . . .	über 60 (über 70 in Fig. 29).

## V. Quarzit in Serizitquarzit. Steinsäge zwischen Balser und Brennerbad, Schieferhülle der Tauern.

Weißer quarzitischer Einlage, Ausgangsmaterial unsicher (Linse?, Gerölle?, Gang?), derzeit zu einer Stengelfalte gefaltet. Dasselbe Stück zeigt in Querschnitten von 1 dm Distanz einerseits noch die Form einer gedrungenen, längsgerieften Falte mit rasch auskeilenden kurzen Schenkeln, andererseits die Form des längsgerieften Stengels (nach *b*) ohne Schenkel, wie Fig. 31 zeigt. Im betrachteten Bereich kommt dieser von mir oft genug erwähnten Form der Stengelfalte noch die Symmetrieebene (*a c*) zu. Es ist dies eines der Präparate, auf Grund welcher ich schon 1913 (J. R. A.) die Unterisotropie der Schnitte quer zu der zusammenfallenden Falten- und Stengelachse (*b*) hervorhob, welche auch schon aus Fig. 31 sogleich hervorgeht. Bei dieser Gelegenheit möchte ich anmerken, daß ich mich dabei (und auch sonst niemals) nicht gegen das Vorhandensein von Scherflächen aus der Zone der *b*-Achse ausgesprochen habe, welche oft schon makroskopisch deutlich sind. Wenn wir den normal zu *s* entfallenden Druck in einem Schiefer *d* nennen, so scheint mir im Falle der Stengelbildung der zum Stengel werdende Bereich seine Einstellung gegenüber *d* und allen anderen Hauptdrücken und zugeordneten Scherflächen um die Stengelachse rotierend zu ändern. Dies hat für das korrelierte Gefüge dasselbe Ergebnis, wie wenn man die betreffenden Druckrichtungen und ihre zugeordneten Schubspannungen um den festgehaltenen Stengel rotieren oder den Hauptdruck, gleich dem einer Hand, welche den Stengel umschließt und massiert, anordnen würde. Man würde also in solchen gleich Nudeln gewalzten und oft gleich diesen nach *b* verlängerten (gestreckten) Stengelfalten entweder eine größere Anzahl sich in *b* schneidender Scherflächen erwarten oder, falls das Gefüge nicht zu reliktscher Regelung neigt, sondern empfindlich und leicht umprägbar ist, die allerletzte ausgelöste Scherfläche. Wie das Diagramm Fig. 31 (453 Pole) ergibt, ist letzteres der Fall. Die Falte ist homogen heteroachs geregelt: Es fällt zwar die Halbierungsebene des in unserem Falle  $43^\circ$  betragenden Winkels zwischen den uns schon bekannten, insular besetzten Quarzgroßkreisen mit (*a c*) zusammen, nicht aber deren Schnittgerade, die vermutliche letzte Translationsrichtung, mit *a*. Die Quarzkörner bilden ein ziemlich stark verzahntes Gefüge undulöser Körner, welche als

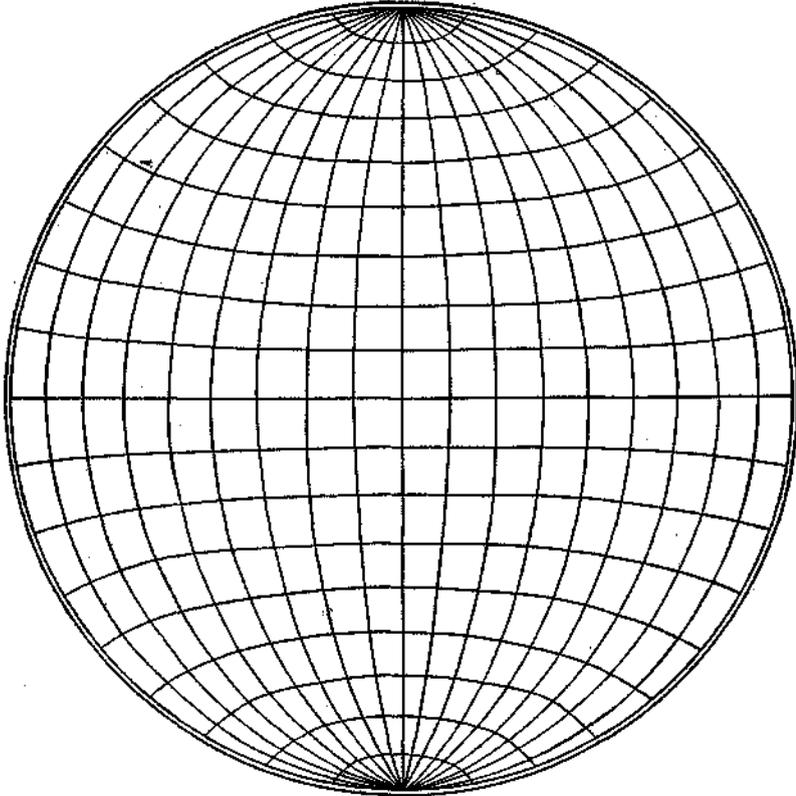


Fig. 30. Flächentreues Gradnetz.

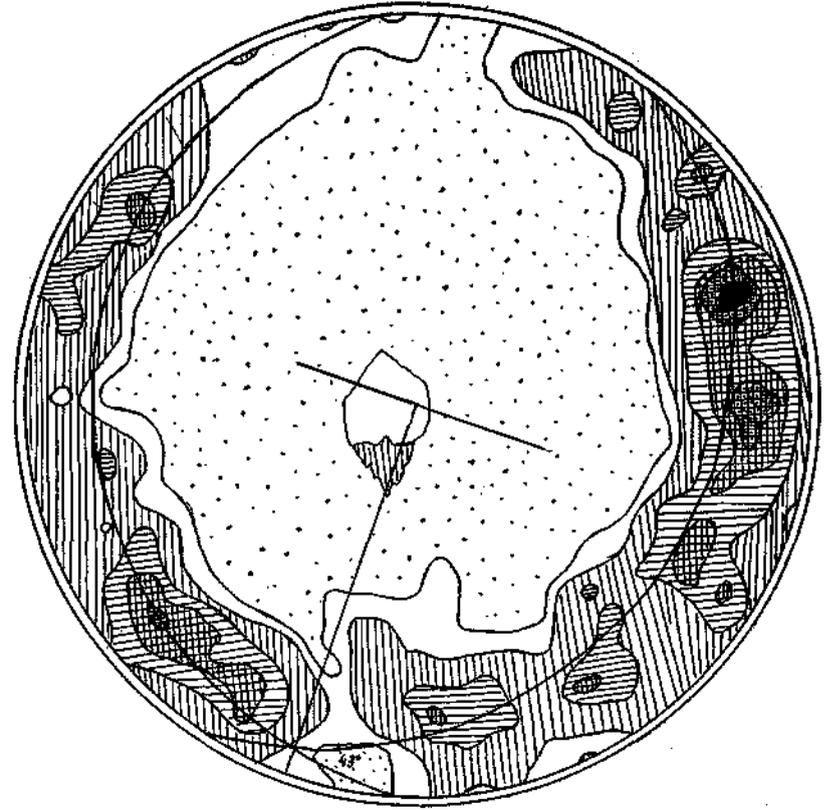


Fig. 31. 453 c Achsen von Quarz.  
Stengelfalte von Quarzit, obere Schieferhülle; Brenner.

dicke Plättchen (ohne andere Vorzugsrichtung) um  $b$  rotierend angeordnet sind, wobei  $b$  in der Plättchenebene liegt. Im Schnitte nach ( $a c$ ) zeigen die Längsachsen der Plättchen gruppenweise rasch wechselnde Richtungen, bisweilen fast wirbelartige Zeichnungen bildend, meines Erachtens ein guter Ausdruck für die früher erörterte Auffassung der Kräfteanordnung. Im Längsschnitt des Stengels fällt dann die größte Kornlänge einhellig mit der Stengelachse zusammen.

Überindividuen im Sinne der allgemeinen Einleitung treten schon ohne U-Tisch im Querschnitt und im Längsschnitt der Falte sogleich hervor. Ebenso dann dadurch, daß sich das Diagramm  $\parallel (a c)$  gruppenweise ungleichmäßig besetzt. Bemerkenswert, aber auf Grund des bisherigen Materials nicht sicher deutbar ist der Umstand, daß die Gürtelmaxima ihren Großkreis hin und her torkelnd besetzen; worin sich sowohl Überindividuen als sich ablösende blockierende Scherungen äußern könnten.

Um nun einen weiteren Einblick in den Bau dieses wahrscheinlich aus größeren zerpreßten Quarz „einkristallen“ abzuleitenden geregelten Gefüges aus Überindividuen zu erhalten, wurde der Längsschnitt eingemessen. Dieser Längsschnitt (Fig. 32) verläuft zufällig so, daß die Schnittgerade der Quarzgürtel auf ihm senkrecht steht. Es ist nun im Diagramm gezeigt, wie die Besetzung erfolgt, wenn man (siehe Fig. 32) zeilenweise parallel zur Stengelachse und Längserstreckung der Körner einmißt. Es zeigt sich sofort, daß man damit auch zugleich der Längserstreckung von sehr kornreichen Überindividuen folgt, welche wie die bereits beschriebenen Einzelkörner Platten parallel zur Achse  $b$  bilden, und, was ihre Achsenrichtung anlangt, wieder Gruppen von Überindividuen bilden, deren demselben Großkreis angehörige, ja sogar genau gleichgerichtete Glieder sich im Längsschnitt des Stengels rhythmisch wiederholen, wenn man quer zu  $b$  geht. Wir erhalten so wieder gleichgerichtete Gruppen von Überindividuen, welche man in ein weiteres Gebilde höherer Ordnung zusammenfassen kann und meines Erachtens einer Scherflächenschar zuordnen darf. So läßt sich ein wenn auch noch vieler Weiterarbeit bedürftiger Einblick in den Mechanismus eines solchen Gefüges anbahnen. Bei dieser Gelegenheit wurde nach einiger Zeit von der Einmessung einzelner Körner auf die direkte Einmessung von viele Körner umfassenden Überindividuen übergegangen und ein eigenes Signal hierfür (kleine Kreise) gesetzt. Hierbei hat sich die Brauchbarkeit dieser Methode dadurch erwiesen, daß sie die bereits auf Fig. 31 durch Einzelkörner erwiesenen Großkreise genau so zutage förderte, wie sie im Längsschnitte erscheinen müssen. Die Besetzung erfolgte zwar mit Überindividuen, aber doch keineswegs so, daß die Maxima etwa auf ein zusammenhängendes Überindividuum höherer Ordnung zurückgehen. Die Maxima werden ganz allmählich durch voneinander entlegene Individuen besetzt.

Die Achsendivergenz betrug bei den aneinander grenzenden Überindividuen im gleichen Maximum  $44.5^\circ$  im Mittel, im verschiedenen Maximum  $59^\circ$ .

Signatur des Diagramms Fig. 31 genau wie Fig. 21 usw. zu Falte III.

## VI. Rhät des Tribulaun, hochkristalline Trias der Tribulaundecke.

Hochkristalliner Kalkmarmor mit etwas pigmentiertem ss, welches gebogen und stufig zerschert ist.

Symmetrieebene ( $a c$ ), Mächtigkeit in  $a$  nicht konstant. Das Kalzitgefüge ist unversehrt vollkristallin bis auf Scherflächenscharen, deren Spuren man auf ( $a c$ ) wahrnimmt. Eine solche Schar verläuft  $\parallel$  ( $a b$ ), eine andere etwas schief zum Achsenkreuz. Die Kalzitlamellen sind im Hauptmaximum in diese letztere Richtung eingestellt, im Nebenmaximum liegen ihre Pole auf einem  $50^\circ$  breiten Großkreisgürtel, welcher die Hauptmaxima enthält und aus Ebene ( $a c$ ) um etwa  $20^\circ$  herausgedreht ist. Ebenso besetzt das Achsendiagramm einen sehr breiten Großkreisgürtel, der mit keiner Ebene des Achsenkreuzes zusammenfällt. Die Falte ist also heteroachs.

Zeichnet man den Pol des Großkreisgürtels der Lamellenpole ein und damit sein Lot, so ist dieses am besten als Schnittgerade von Scherflächen, als „Scherungsachse“, aufzufassen, auf welcher die Scherungsrichtungen (innerhalb der Scherflächen) senkrecht stehen.

Keine der mit der Regelung noch erschließbaren Scherflächenscharen gestattet, die Falte als einfache Gleitbrettfalte abzuleiten.

Auch diese Falte ist von zwei Hauptscherflächenscharen und von anderen Nebenschersflächen überprägt. Wie sich denn überhaupt der Eindruck erneuert, daß bei Kalkgefüge mit der Regelung sich die allerletzten Differentialbewegungen ablesen lassen, nicht die, welche die Entstehung der Falte begleitet haben. Das ist für die tektonische Ausdeutung der geregelten Gefüge festzuhalten. Man könnte auch sagen: Wir sehen mit der Gefügeregel, bzw. mit dem U-Tisch weit mehr echte Cleavage als die Alten. Und da wir die Cleavagen präziser tektonisch deuten, ergibt sich ein bisher unbegehbare Feld für das Studium der letzten tektonischen Eindrücke auf einen Erdrindenteil.

Das Beispiel wird nicht seiner Regelung halber gegeben, welche im Vergleich zu den anderen Fällen weniger deutlich ausgesprochen ist, sondern seiner übrigen Gefügemerkmale wegen.

Größere und kleinere Körner lassen deutlich zwei Ordnungen unterscheiden. Die größeren Körner schwimmen in einem Mosaik der kleineren, welche nach älteren Ansichten zweifellos als „Mörtel“ aufzufassen und der ja (schon durch die intensive Faltung) zweifellos bezeugten Durchbewegung des Stückes zuzuordnen wären. Letzten Endes erscheint auch mir die Zuordnung dieses „Mörtels“ zu einer sehr kräftigen Durchbewegung unabweislich, welche älter, gleich alt oder jünger als der Faltungsakt sein kann. Sie kann etwa dem Hauptmaximum von  $-\frac{R}{2}$

entsprechen, welches seinerseits nicht dem Faltungsakt entspricht. Jedenfalls aber liegt diese Mörtelmasse nicht als kataklastischer Mörtel, sondern als vollkommen rupturenfreies typisches Kleinmosaik mit glatten Intergranularen vor. Und es entspricht den Verschiebungslamellen, welche das Hauptmaximum des Diagramms besetzen, nur sehr selten und dann an der Intergranulare zwischen zwei großen Körnern eine der Verschiebung

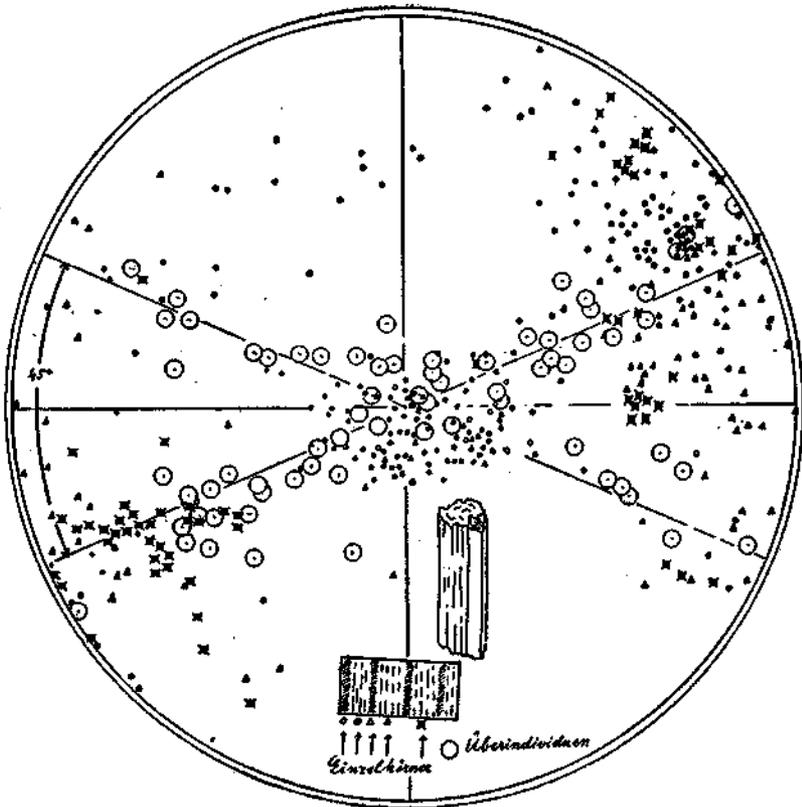


Fig. 32. Überindividuen von Quarz.  
Stengelfalte von Quarzit, obere Schieferhülle; Brenner.

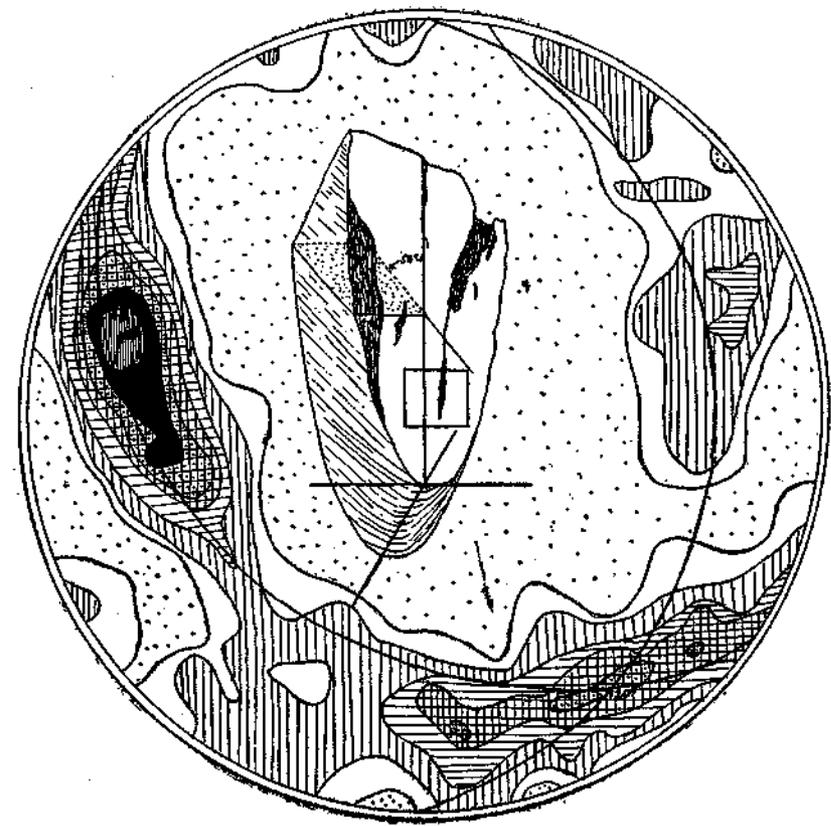


Fig. 33. 455 Quarze.  
Quarzit in Quarzphyllit; Mallgrübler N-Grat, Voldertal.

korrelierte stufige Knickung der Korngrenzen. Dabei ist oft im Korn der Verschiebungsbetrag direkt ablesbar, indem eine Lamelle die andere verwirft (blockiert), während ein glatter unstufiger Kornrand quer zur Verschiebung im Korn verläuft. Dies scheint mir auf den parakristallinen Charakter der Deformation hinzuweisen: Sie ist bis auf rapturelle Scherflächenscharen von der Kristallisation überholt. Da letztere Scherflächenscharen aber noch im Sinne des Hauptmaximums der Lamellenpole verlaufen, dürfte eben die Kristallisation mit der betreffenden Deformation zeitlich interferieren (parakristalline Deformation zum Hauptmaximum von  $-\frac{R}{2}$ ). Ein Granat als harte Einlagerung erzeugt im Gefüge nicht die leiseste Störung.

Zunächst wurde das vorliegende Präparat benutzt zur Untersuchung, ob unter den sichtbaren Rissen ohne Lamelle vielleicht noch  $R$  und nicht nur  $-\frac{R}{2}$  vertreten sei.

Hiezu wurde (in 40 Fällen) die Divergenz zwischen  $c$ -Achse und Lot auf die Spalt-, bzw. Reißfläche gemessen. Sie war im Mittel  $30^\circ$ , also um  $4^\circ$  durch Meßfehler vom Winkel  $c$ :  $-\frac{R}{2}$  abweichend.

Unter 13 anderen Fällen ergab der Polkantenwinkel in 11 Fällen  $-\frac{R}{2}$ , in zwei Fällen  $R$ .

Hieraus ergibt sich, daß  $R$  so selten sichtbar wird, daß es möglich wäre, beim Mangel von Zwillingslamellen überhaupt die Reißflächen einzumessen und als  $-\frac{R}{2}$  zu deuten, da  $R$  bei der Korneinspannung im Gestein so geringe Wahrscheinlichkeit des Auftretens besitzt.

Ferner wurde für diesen Schliff die Frage behandelt, ob die einander berührenden „Nachbarkörner“, „N-Körner“ eine andere mittlere Achsendivergenz zeigen als die einander nicht berührenden „O-Körner“.

An sieben Stellen des Schliffes wurden geschlossene Körnergruppen (7—11 Körner) Korn für Korn eingemessen. Dann wurden die Achsendivergenzen für jedes in der betreffenden Gruppe aufstellbare Körnerpaar aus dem Diagramm entnommen und nach steigenden Werten angeordnet. Dann wurden die Achsendivergenzen der N-Körnerpaare von denen der O-Paare übersichtlich unterschieden. Das ergibt eine allerdings noch getrübbte Einsicht, ob der direkten Berührung kleinere Achsendivergenzen entsprechen. Um diese Einsicht zu klären und unabhängig vom örtlichen Grade der Gefügeregelung an verschiedenen Stellen des Schliffes zu beurteilen, ob direkter Berührung wirklich kleinere Achsendivergenz entspricht, wie es ja schon bei erster Betrachtung des Schliffes scheinen will und sowohl bei mechanischer Körnerbildung aus größeren Individuen als bei Rekristallisation genetisch wahrscheinlich ist, wurde für jede der sieben untersuchten Stellen des Schliffes eine mittlere Achsendivergenz sämtlicher Körnerpaare ermittelt. Und es wurde sodann fest-

Körnergruppe	Maximale Achsendivergenz		Minimale Achsendivergenz		Unter die mittlere Achsendivergenz aus allen Körnerpaaren der Gruppe fallen		Mittlere Achsendivergenz aus allen Paaren der Gruppe
	N-Körner	O-Körner	N-Körner	O-Körner	in % aller N-Paare der Gruppe	in % aller O-Paare der Gruppe	
8 große Körner (1 Zwilling) bilden mit ihren Polen eine Häufungsstelle innerhalb des Achsenmaximums des Gesamtdiagramms; Angrenzend an	73°	90°	7°	25°	56 % (— 11 =) 45 %		48°
7 große Körner mit gleicher Häufung	74°	75°	10°	15°	73 % (— 40 =) 33 %		45°
Glattes Mosaik kleiner Körner ohne Häufung; keinerlei Druckspuren	90°	83°	25°	26°	53 % (— 13 =) 40 %		60°
10 große und kleine Körner mit sehr deutlicher Häufung im sekundären Maximum	87°	87°	12°	5°	59 % (— 20 =) 39 %		51°
Glattes Mosaik 9 kleiner Körner ohne Druckspuren; sehr deutliche Häufung im sekundären Maximum	88°	82°	8°	10°	43 % (+ 12 =) 55 %		48°
11 große und kleine Körner; deutliche Häufung außerhalb der Maxima	85°	90°	40°	13°	55 % (— 6 =) 49 %		62°
Glattes Mosaik 7 mittelgroßer Körner; mit Häufung außerhalb der Maxima	83°	80°	3°	39°	41 % (— 19 =) 22 %		53°

gestellt, wie viele Prozent der N-Paare und wie viele Prozent der O-Paare eine geringere als diese örtliche mittlere Achsendivergenz zeigen.

Wir ersehen aus der Tabelle, für welche 239 Körnerpaare (106 N-Paare, 133 O-Paare) vermessen wurden:

1. Die maximale Achsendivergenz der Körner einer Gruppe schwankt bei Betrachtung aller Gruppen für N-Körner von  $73^\circ$  bis  $90^\circ$ , für O-Körner von  $75^\circ$  bis  $90^\circ$ ; sie ist im Mittel für N-Körner  $86^\circ$ , für O-Körner  $84^\circ$ .

Es unterscheiden sich also N-Körner und O-Körner in ihrer maximalen Achsendivergenz nicht.

2. Die minimale Achsendivergenz der Körner einer Gruppe schwankt bei Betrachtung aller Gruppen für N-Körner von  $3^\circ$  bis  $40^\circ$ , für O-Körner von  $5^\circ$  bis  $39^\circ$ ; sie ist im Mittel für N-Körner  $15^\circ$ , für O-Körner  $17^\circ$ .

Es unterscheiden sich also N-Körner und O-Körner auch in ihrer minimalen Achsendivergenz nicht.

3. Die mittlere Achsendivergenz der einzelnen Gruppen bei Betrachtung aller Körner schwankt von  $45^\circ$  bis  $62^\circ$ , im Mittel  $52^\circ$ , entspricht also durchaus nicht dem Werte  $33^\circ$  der mittleren Achsendivergenz bei ge-

nauer Regelung der Körner nach  $-\frac{R}{2}$ , noch dem Werte  $45^\circ$  beim

Fehlen jeder Regelung und ist vielleicht ein Hinweis auf (nichtlamellare) Zwillinge.

4. Man ersieht, daß sich tatsächlich die N-Körner in höherem Prozentsatz an der untermittleren Achsendivergenz der einzelnen Gruppen beteiligen als die Körnerpaare ohne gegenseitige Berührung im Schriff. Der Unterschied der prozentuellen Beteiligung beträgt im Mittel über alle Gruppen 26 d. h.: wenn in einer Gruppe  $m\%$  O-Körner untermitteldivergent sind, so ist zu erwarten, daß dies für  $(m + 26)\%$  der N-Körner gilt.

## VII. Quarzlinse im Innsbrucker Quarzphyllit; Mollgrübler Nordgrat, Voldertal.

Reinweißes Quarzgefüge mit vereinzelt, wenigen Muskowitschüppchen.

In Quarzphyllit eingebettete, aus einem Quarzgang abzuleitende Linse zu einer Falte mit schon ursprünglich ungleich starken, eng geschlossenen Schenkeln gefaltet.

Die Faltenform zeigt nur Symmetrieebene ( $a\ c$ ) und auch diese nur, wofern man von der in Fig. 33. ersichtlichen kräftigen Riefung schief zu  $b$  absieht. Genau genommen ist diese Falte also asymmetrisch in ihrer Form und wie sich ergeben wird, weder homogen geregelt noch homoachs in ihrem Gefüge. Ferner wird sie sich als ein vollkommen sicheres Beispiel für vorkristalline Deformation mit überdauernder Rekristallisation erweisen, insoferne es die geradezu schriftgranitische Durchwachsung der Quarze untereinander für mich ausschließt, daß die Falte ihr unversehrtes Gefüge etwa nur idealplastischer Korndeformation verdankt.

In allen Gefügeschnitten lassen sich mit den einleitend erörterten Methoden große Überindividuen nachweisen. Wenngleich in der Schrifffläche vereinzelt Körner außerhalb der Überindividuen auftreten, ist es

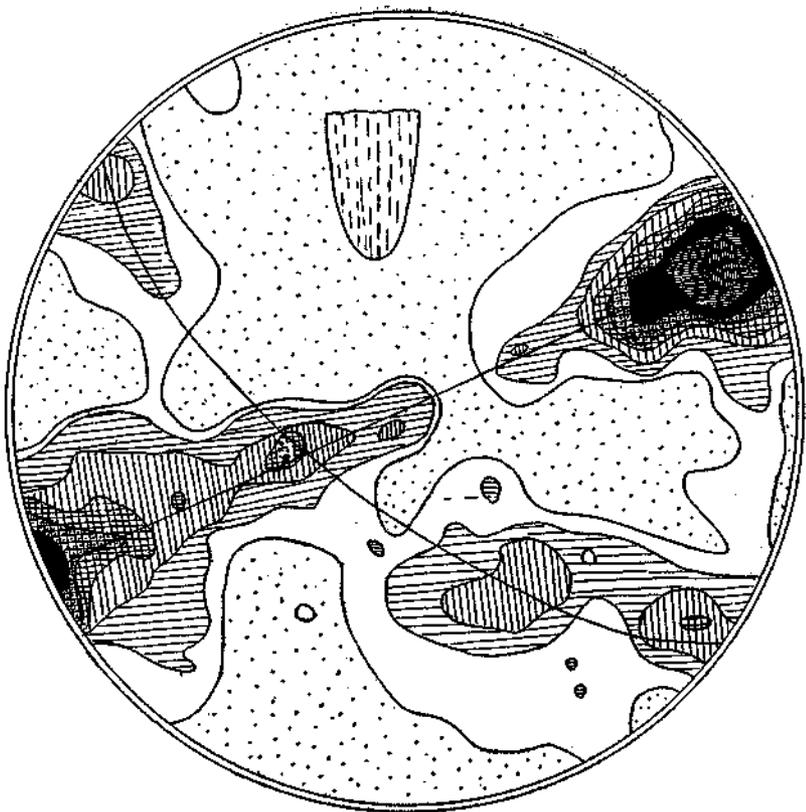


Fig. 34. 410 Quarze, Schnitt  $\perp$  Ebene ( $a b$ ), unter  $50^\circ$  zu  $b$ .  
Quarzit in Quarzphyllit; Mollgrübler N-Grat, Voldertal.

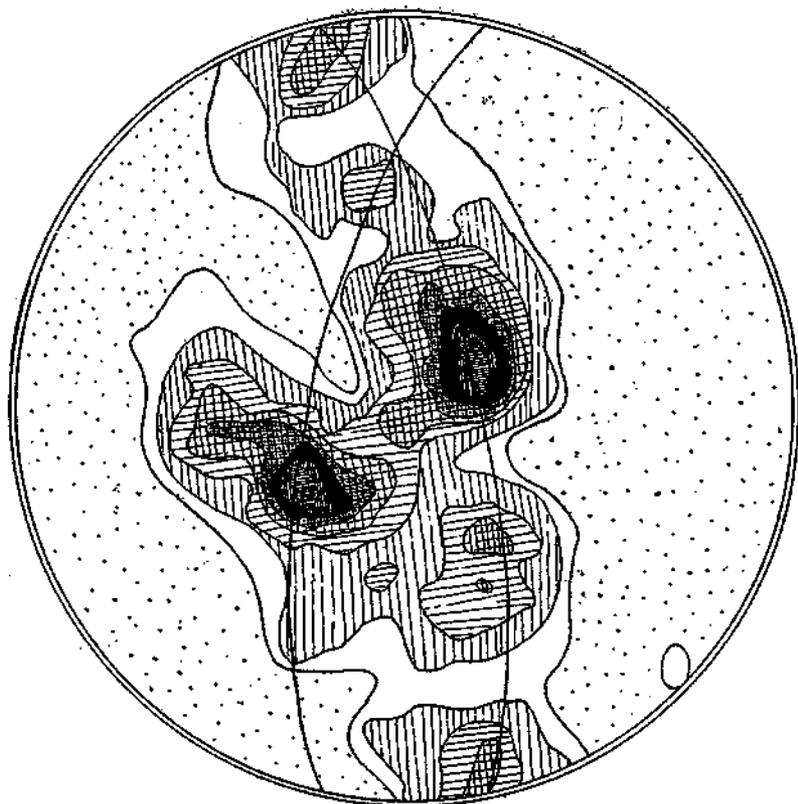


Fig. 35. 416 Quarze, Zeichenebene = ( $a b$ ).  
Quarzit in Quarzphyllit; Mollgrübler N-Grat, Voldertal.

naheliegender, dieselben als angeschnittene Einzeläste eines im Gestein hinter der Schlißfläche liegenden Überindividuums aufzufassen und anzunehmen, daß das ganze Gestein lückenlos aus Überindividuen gefügt sei.

Ebenso ist an den Einzelkörnern allenthalben Undulationsstreifung parallel der Hauptachse und Böhmsche Streifung vorhanden. Letztere ist in Schlißen  $\parallel (bc)$  zuweilen sehr schön an gänzlich glatte Kornkonturen ohne Stufen grenzend ausgebildet. Daneben erscheinen deutlich und unsehrten Kornkonturen mit rechtwinkligen groben Stufen, welche sich als Böhmsche Streifung ins Korn hinein fortsetzen. Es liegt also nahe, daß im ersten Falle der Blick des Beobachters subparallel zur Translationsrichtung, im zweiten Falle mehr minder quer zu derselben gerichtet ist und daß Translation in der Fläche der Böhmschen Streifung eine gewisse Rolle spielt.

Andererseits liegt hier ein Fall vor, in dem man mit Zerbrechung und Zergleitung großer Gangquarze und deren Rekrystallisation in ein im ganzen nicht mehr kataklastisches Gefüge einander geradezu schiffgranitisch durchwachsender Überindividuen mit Sicherheit rechnen kann. Der Schliß besteht noch jetzt aus diesen letzteren ebenfalls sehr großen Überindividuen, welche einander mit weitverzweigten, ganz unversehrten Ästen durchwachsen und mechanisch nachkristallin in Unterindividuen (Einzelkörner) von fast gleicher Orientierung untereinander zerlegt sind. Trotzdem letztere nur eine maximale Achsendivergenz von  $14^\circ$  aufweisen, zerfallen sie im zufälligen Schnitt, also bei Untersuchung ohne U-Tisch, im allgemeinen in ein weder zusammenfaßbares noch von der Umgebung abgrenzbares Körnermosaik: sie verschwinden als Überindividuen. Die Gestalt und Größe eines solchen Überindividuums (schwarz = Überindividuum 1) aus einem Schliß nach  $(ab)$  zeigt Fig. 36. Es besteht schon in einem Schnitt aus sehr vielen Dutzenden von Einzelkörnern mit der maximalen Achsendivergenz  $14^\circ$ , der vermutlichen mittleren Achsendivergenz von  $7^\circ$ . Messen wir sämtliche 1 berührenden 65 Nachbar Körner ein, so ergibt sich eine mittlere Achsendivergenz zwischen 1 und diesen Körnern von  $45^\circ$ . Beseitigt man die stärker herausfallenden Werte, so bleiben 43 Einzelwerte, welche sich wenig von  $45^\circ$  entfernen (und deren Mittel wieder  $45^\circ$  ist). Man sieht also sehr gut, wie sich das Überindividuum 1 reell aus seiner Umgebung hebt.

Ferner schließen sich die Körner der Umgebung untereinander in Überindividuen zusammen. In welcher Weise, das erkennt man, indem dem Schlißbild  $\parallel (ab)$  auch das Diagramm  $\parallel (ab)$  in übrigens ganz gleicher Orientierung in der Zeichenebene beigegeben ist (Fig. 36 und 37) und beide aufeinander bezogen sind.

Wir stellen nun noch das statistische Diagramm dieses Schnittes  $(ab)$  wieder in der gleichen Orientierung in der Zeichenebene daneben (Fig. 35; 416 Körner). Dieses Diagramm zeigt die uns bereits bekannte Quarzgefügeregel mit den zwei sich unter  $43^\circ$  schneidenden überbesetzten Großkreisgürteln. Ihre ungleichmäßige insulare Besetzung, die wir stets begegneten, ist in diesem Falle so drastisch, daß sie die Erfassung der Großkreise erschwert, ja hindern könnte, wenn nicht unsere bisherigen Erfahrungen und andere später zu bringende Hinweise aus diesem Gesteine vorlägen. Im vorliegenden Falle nun ergibt sich eine sichere

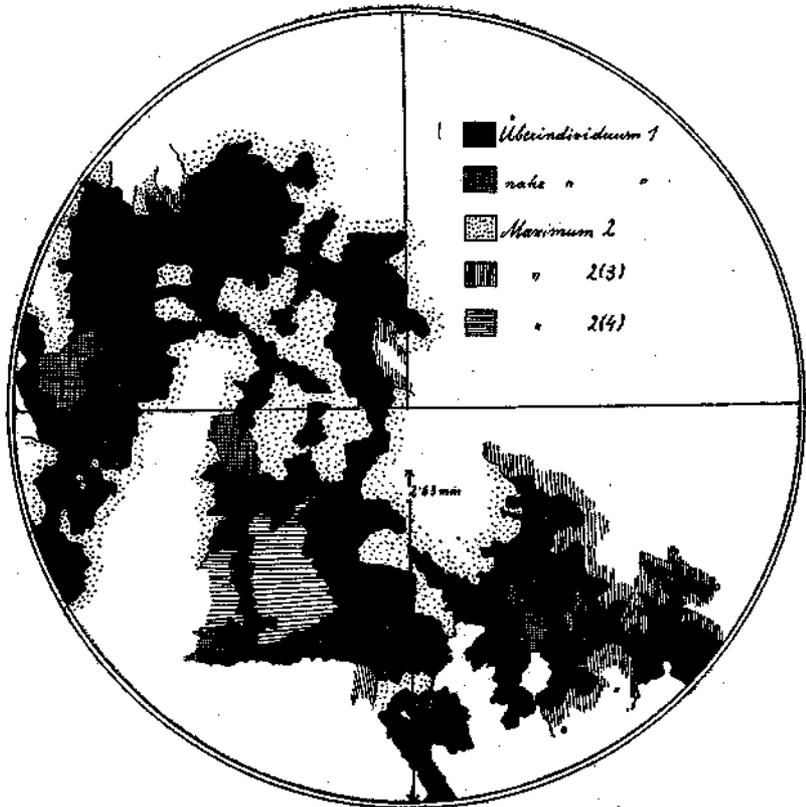


Fig. 36. Quarze in Schnitt ( $\alpha \beta$ ).  
 Quarzit in Quarzphyllit; Mollgrübler N-Grat, Voldertal.  
 Vgl. Fig. 37.

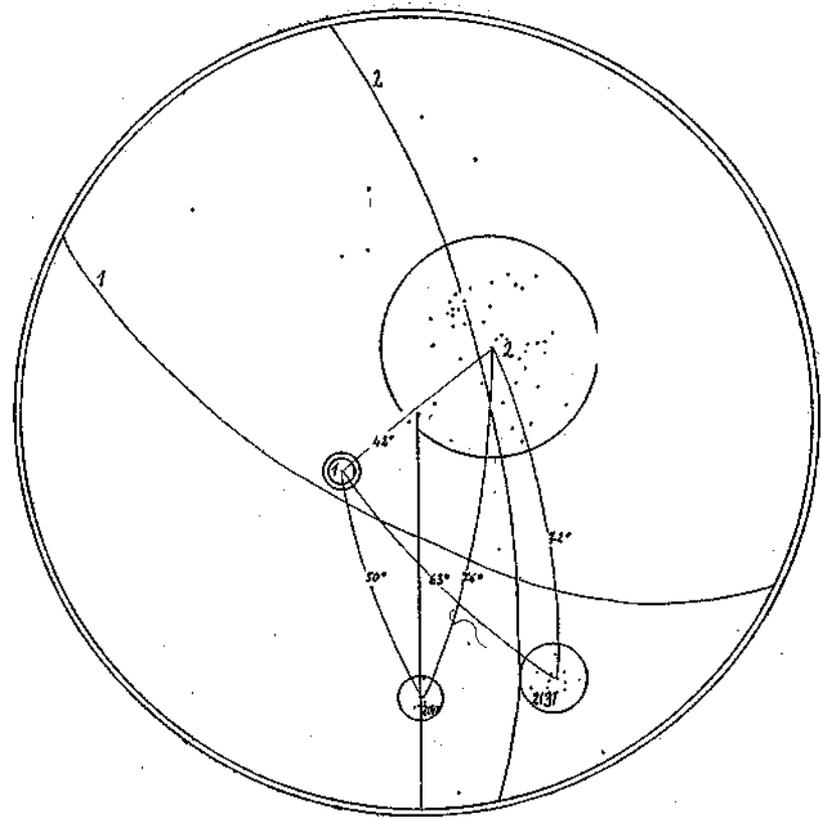


Fig. 37. Dasselbe Quarz-Überindividuum und seine Nachbarn; c-Achsen.  
 Quarzit in Quarzphyllit; Mollgrübler N-Grat, Voldertal.

Erklärung der insularen Besetzung, welche ich ohne weitere Arbeit nicht auf alle Fälle insularer Besetzung ausdehne.

Wir sehen nämlich durch den Vergleich der Figuren 35, 36, 37, daß die insularen Nebenmaxima nichts anderes bezeugen, als daß im betrachteten Schlicke von immerhin 416 Körnern die Überindividuen 1 und 2 vorwalten. Es geht also die insulare Besetzung hier (und sicher noch in anderen, möglicherweise in allen Fällen) darauf zurück, daß sich im betrachteten Bereich Überindividuen noch als Inhomogenitäten des Gefüges bemerkbar machen. In solchen Fällen muß der insulare Charakter der Gürtelbesetzung, welcher, wie wir sehen, sogar die Erfassung der Regel (das zichtige Einlegen der Großkreise) behindern kann, zurücktreten und endlich verschwinden, wenn wir den eingemessenen Bereich des Gefüges genügend vergrößern. Und wir müssen bei ungleichmäßiger Besetzung der Gürtel stets an die Möglichkeit der erörterten Inhomogenität denken und die eingemessene Körnerzahl (den untersuchten Bereich) vergrößern, wenn unsere Fragen und Erklärungen von solchen nach ihrer Erfassung übrigens nicht mehr sehr schädlichen Inhomogenitäten durch Gefügeelemente höherer Ordnung berührt werden könnten. Andererseits ist es oft gerade sehr willkommen, daß das statistische Diagramm, besonders wenn mit Beachtung des Besetzungsvorganges gewonnen, auch die Gefügeelemente höherer Ordnung als Inseln zum Ausdruck bringt, gerade wenn wir die eingemessene Körnerzahl nicht sogleich blindlings, sondern allmählich in statistisch auszumessenden Teildiagrammen erhöhen.

In einem Schnitte normal zu  $(ab)$ , aber unter  $50^\circ$  zu  $b$  geneigt, bezeichnen unversehrte Muskovite haarscharf die Richtung von  $s_1$  in der Falte, welches mit  $s_1$  des Quarzphyllits außerhalb der Falte übereinstimmt. Dieses  $s_1$  wird von  $s_2$  unter etwa  $45^\circ$  gekreuzt, in welchem die kristallographischen Achsen und die Längsachsen der Quarze liegen. Da nun  $s_1$  in keiner Weise von  $s_2$  gestört wird, so kann letzteres keine Gleitfläche jünger als  $s_1$  sein und auch keine Gleitfläche älter als das dem Phyllit- $s$  und der Plattungsebene der Falte entsprechende  $s_1$ . Es kann  $s_2$  überhaupt keine Gleitfläche sein und es entspricht vollkommen unserem Einblick in die Bedeutung der Quarzgürtel und ihrer Schnittgeraden, daß wir auch auf diesem Wege sehen: weder die Längsachsen noch die  $c$ -Achsen der Quarze sind in eine Scherfläche des Gesteins eingeregelt, bzw. die Großkreisgürtel der Quarzmaxima sind keine Scherflächen.

Wir betrachten nun weitere U-Tisch-Diagramme. Im Schnitte  $(ac)$  (Fig. 33, 455 Körner) wurde zunächst durch Teildiagramme festgestellt, daß die Falte in Hinsicht auf die Faltenbögen (nicht aber wie wir bereits sahen in Hinsicht auf Überindividuen in kleinen Bereichen) homogen geregelt ist. Es ist ferner sehr gut ersichtlich, daß die Großkreisgürtel auftreten und sich unter  $60^\circ$  schneiden. Ferner ist der heteroachse Charakter der Falte ersichtlich, indem die Schnittgerade mit keiner Achse der Falte zusammenfällt und auch in keiner Hauptebene des Achsenkreuzes liegt.

Die einleitend erörterte konstruktive Rotation (breitschraffiert in Fig. 39) der Maxima von  $(ac)$  um Achse  $a$  im Betrage von  $90^\circ$  [= Winkel  $(ac)/(ab)$ ] führt zur Deckung mit dem von uns bereits

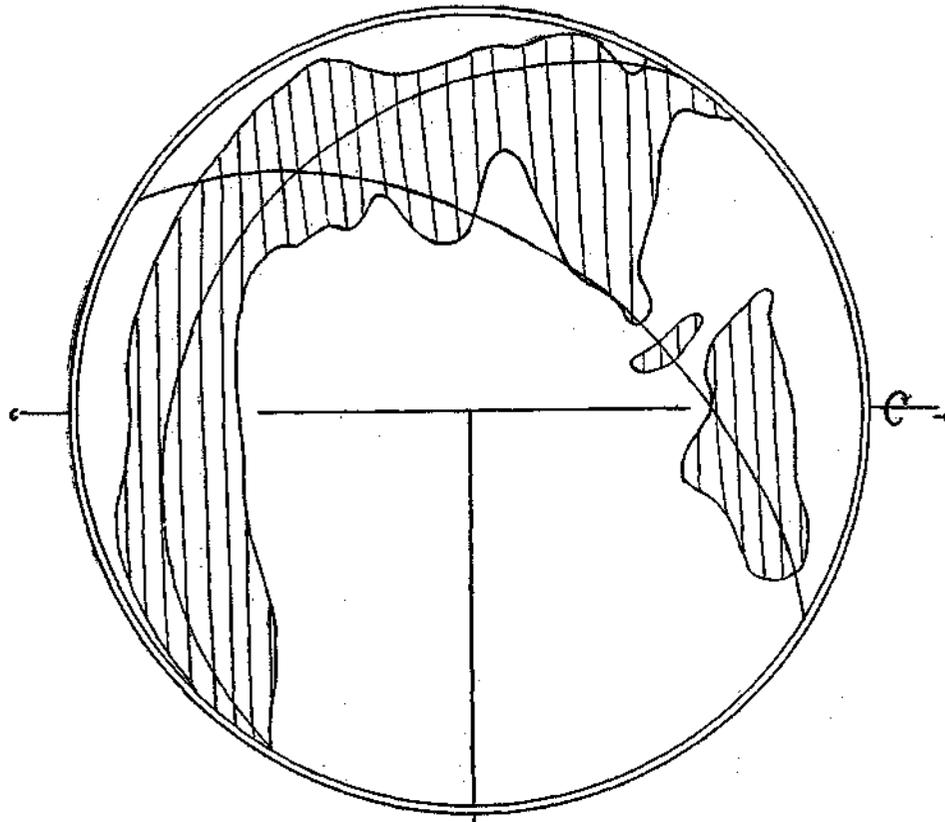


Fig. 38. Quarz. Konstruktive Rotation der Maxima von Fig. 33 um Achse  $c$  ( $50^\circ$ ).

Die konstruktive Rotation der Maxima von  $(a c)$  mit ihren Großkreisen um  $c$  im Betrage von  $50^\circ$  ( $= \sphericalangle$  Schnitt 34 zu  $a c$ ) erzeugt keine Überführung von  $(a c)$  in Schnitt 34. Schnitt 34 liegt also außerhalb des homogenen Bereiches dem Schliff Fig. 33 entnommen ist.

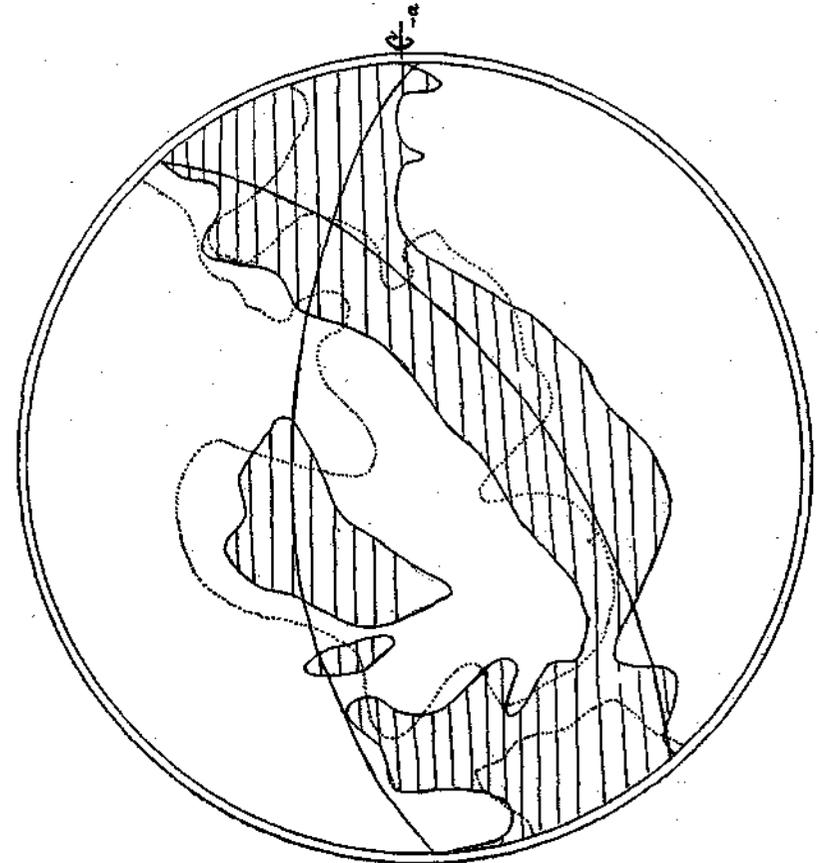


Fig. 39. Quarz. Konstruktive Rotation der Maxima von Fig. 33 um Achse  $a$  ( $90^\circ$ ).

Die konstruktive Rotation der Maxima von  $(a c)$  mit ihren Großkreisen um  $a$  im Betrage von  $90^\circ$  ( $= \sphericalangle (a c)$  zu  $(a b)$ ) führt zur Deckung und dem direkt gemessenen Maximum von  $(a b)$ ; die Schiffe  $(a b)$  und  $(a c)$  sind beide demselben homogenen geregelten Bereiche entnommen.

betrachteten, direkt gemessenen Maximum von (*ab*) (Punktlinie in Fig. 39, bzw. Fig. 35). Die Schliffe (*ab*) und (*ac*) sind tatsächlich einander unmittelbar benachbart, einem Gefügebereiche von ganz gleichartiger Regelung entnommen, dessen homogene Regelung durch unseren Versuch ebenso nachgewiesen ist wie die Richtigkeit der Einmessungen beider Diagramme durch gegenseitige Prüfung.

Betrachten wir nun noch den Schnitt  $\perp$  auf (*ab*), aber unter  $50^\circ$  zu *b* geneigt (Fig. 34, 410 Körner). Wir erhalten die bekannten Gürtelmaxima mit  $63^\circ$  und einer ebenfalls schief zum Achsenkreuz verlaufenden Schnittgeraden.

Die Stelle, an welcher dieser Schnitt genommen wurde, ist einige Zentimeter von der Stelle der Schliffe (*ac*) und (*ab*) entfernt. Die konstruktive Rotation der Maxima von (*ac*) um *a* im Betrage von  $50^\circ$  [=  $\sphericalangle$  unseres Schnittes zu (*ac*)] (siehe Fig. 38, breitschraffiertes Feld) erzeugt, wie der Vergleich von Fig. 38 und Fig. 34 sofort zeigt, keine Überführung des Diagrammes für unseren Schnitt (Fig. 34) in das Diagramm für (*ac*). Der Bereich, aus welchem unser Schnitt genommen ist, hat also eine generell gleiche, aber andersorientierte heteroachse Regelung als der zuerst betrachtete.

Wir haben damit eine Falte kennen gelernt, deren örtlich verschieden orientierte Regelung nicht der Erzeugung der Faltenform durch einschichtige Scherung zuordenbar ist, sondern meines Erachtens entscheidend von der Orientierung der beim Faltungsakte deformierten größeren Gangquarze abhängt.

Auf  $1\%$  der Halbkugel entfallen von 1000 Polen:

	Fig. 33	Fig. 34	Fig. 35
weit punktiert . . . . .	0— 5	0— 5	0— 5
weiß . . . . .	5— 10	5—10	5—10
weit vertikal . . . . .	10— 20	10—20	10—20
weit horizontal . . . . .	20— 30	20—30	20—30
weit quadriert . . . . .	30— 40	30—40	30—40
quadriert-punktiert . . . . .	40— 60	40—50	40—50
schwarz . . . . .	60— 80	50—70	50—60
eng vertikal . . . . .	80—100	über 90	60—70
eng horizontal . . . . .	—	70—90	70—80

Die vielen hier noch außeracht gebliebenen möglichen Bezugnahmen auf Folge II dieser Versuche sollen erst in einer weiteren Folge bearbeitet werden.

Innsbruck, Ende Mai 1926.

## Inhalt.

	Seite
Einleitung . . . . .	323
Allgemeines zur Beschreibung von Faltenformen . . . . .	327
nderung von Vorzeichnungen und geologischen Formtypen durch Gesteintranslation (Umscherung) . . . . .	331
Geometrische Erörterungen zur Umscherung von Vorzeichnungen (O. Schmidegg) . . . . .	332
Untersuchungsmethoden . . . . .	349
I. Untersuchung im schiefauffallenden Licht . . . . .	349
II. Ältere Methoden, geregelte Gefüge nachzuweisen . . . . .	450
III. Zur U-Tisch-Methode . . . . .	351
Korrigierte Skalen . . . . .	353
Flächenpol- oder Lamellendiagramme . . . . .	354
Zwillinge . . . . .	356
Teildiagramme . . . . .	357
Körnerzahl, konstruktive Rotation der Diagramme . . . . .	358
Einzelkorn und Nachbarn; Überindividuen; mittlere Lagendivergenz der Körner . . . . .	359
Bestimmung der mittleren Achsendivergenz und Lotdivergenz für die Regel — $\frac{R}{2}$   s bei Kalzit (O. Schmidegg) . . . . .	361
Allgemeine Aussichten der U-Tisch-Methode . . . . .	364
Einzelne Beispiele . . . . .	366
I. Tuxer Marmor . . . . .	366
II. Marmor im Innsbrucker Quarzphyllit . . . . .	373
III. Marmor und Quarzit im Innsbrucker Quarzphyllit . . . . .	379
IV. Phyllitgneis des „Altkristallin“ . . . . .	384
V. Quarzit in Sérizitquarzit; Schieferhülle . . . . .	391
VI. Rhät des Tribulaun . . . . .	394
VII. Quarzlinse im Innsbrucker Quarzphyllit . . . . .	398

### Verzeichnis einiger allgemeiner Begriffe (siehe auch Inhalt).

Achsendivergente Falten . . . . .	328
Achsenkreuz der Faltenform . . . . .	328
Analyse einer Falte (Vorgang) . . . . .	366, 367
Bereiche einfacher Umscherung . . . . .	329, 330
Besetzungsvorgang der Diagramme . . . . .	357, 359, 393, 400, 402
Blockierte Gleitflächen . . . . .	350, 376, 393, 396
Dichte und undichte s-Flächen . . . . .	367
Einfach geregelte und mehrfach geregelte Gefüge . . . . .	327, 383
Entmischung, tektonische, im Kleingefüge . . . . .	368, 385
Fädenporen . . . . .	349, 371, 376
Faltenlappen . . . . .	373, 375
Faltung durch Biegung und Gleitung . . . . .	314
Festigkeitsprüfung und U-Tisch-Analyse . . . . .	321
„Gefaltete Falte“ durch Umscherung . . . . .	379—381
Gefügeachsen . . . . .	384
Gefügegenossen, Einfluß derselben auf die Regelung . . . . .	326, 383
Gitteraggregat, geregeltes . . . . .	365, 393

	Seite
Gleithrettfalte . . . . .	325, 331, 344, 384
Homoachse und heteroachse Falten . . . . .	384, 387, 394, 398, 402
Homogen geregelt und inhomogen geregelt . . . . .	327, 398, 402, 404
Insulare Besetzung der Maxima durch Überindividuen . . . . .	. . . . . 400, 402
Intergranularen . . . . .	349, 371, 374, 385
Krumme Scherflächen . . . . .	370, 372
Lösungsplastizität . . . . .	. . . . . 374
Mikrotektonik . . . . .	. . . . . 325
N-Körner und O-Körner, Achsendivergenz . . . . .	. . . . . 396, 397
Orientierung der Schlitze . . . . .	. . . . . 326
Plättungsebene . . . . .	. . . . . 373
Plastische Korndeformation und Rekristallisation . . . . .	. . . . . 374, 376
„Quarz in Kalzit“-Gefüge, Aussehen und Regelung . . . . .	. . . . . 383, 385, 389
Regelung, passive, der Kalzitgefüge . . . . .	369, 372, 374, 381, 386, 387
Regelung, reliktsche . . . . .	. . . . . 383
Riefung . . . . .	. . . . . 368, 398
Scherfläche des Gefüges = Rotationsscherfläche + Translationsscherfläche (der Körner) . . . . .	. . . . . 369
Scherungsachse . . . . .	. . . . . 391, 394
Selektive Deformation . . . . .	. . . . . 369
Stengelfalte, Aussehen, Mechanismus . . . . .	. . . . . 391
Stufung der Intergranularen . . . . .	. . . . . 396, 400
Suturen . . . . .	. . . . . 368
Symmetrie der Falten . . . . .	. . . . . 328, 335 ff., 398
Tektonische Richtungen . . . . .	. . . . . 328, 329, 330
Überindividuen . . . . .	393, 398, 400, 401, 402
Umregelung . . . . .	. . . . . 372, 381
Umscherung . . . . .	. . . . . 331
Umscherung durch einfache Schiebung (Gerade, Ebene, Falte) . . . . .	. . . . . 332 ff.
Umscherung und Umfaltung; Unterschiede, Mischtypen . . . . .	. . . . . 329
Vorzeichnung mit und ohne mechanisches Korrelat . . . . .	. . . . . 329, 331, 332
Zweigürtelregel der Quarzgefüge . . . . .	382, 383, 400, 402