Über Gefügekunde als neuen Forschungszweig der Petrographie.

Von E. Christa.

Vortrag, gehalten am Vortragsabend der Universität Erlangen vom 16. Dezember 1941.

Was man Gefügekunde heute nennt, ist eine Grundlagenwissenschaft mit eigenen Problemstellungen von allgemeiner Bedeutung. Greift doch Gefügekunde auf ganz verschiedene Wissensgebiete über, so auf die reine Physik, vornehmlich Aggregatphysik, auf technische Fächer wie Metallurgie, Werkstoffkunde, Bodenmechanik, ja sogar auf Sondergebiete der Biologie. In der Gesteinskunde, der Petrologie, hat sie bis jetzt wohl ihren höchsten Entwicklungsgrad erreicht. Nur darauf sei hier etwas näher eingegangen. Allein im engen Rahmen eines Vortrags kann das kaum mehr als andeutungsweise geschehen und wiederum nur unter Beschränkung auf besonders bedeutsam erscheinende, vielleicht auch allgemein interessierende Fragestellungen.

Versteht man unter Gefüge eines Körpers, etwa eines Granithandstücks oder eines ganzen Granitmassivs, eines Marmorblockes, eines Betonpfeilers oder einer Eisenschiene, eines Stützknochens, Zahnes usw., die Art und Weise, wie sich die Teile zum Ganzen buchstäblich fügen, so scheint mir der Begriff genügend weit gefaßt, aber doch auch nicht zu weit; denn wenn man heute angesichts der immer zahlreicher uns zur Kenntnis gelangenden fernsten Sternenwelten bereits von einem „Gefüge des Weltalls“ spricht, so dünkt uns der von Fuge abzuleitende Begriff hier kaum mehr angebracht. Dem sprachlichen Sinn des Wortes Gefüge widerspräche ebensosehr die feinbauliche Besetzung mathematisch allein hierfür möglicher Punktanordnungen des Diskontinuums, m. a. W. der Kristall schlechthin, und noch weit mehr ein nur kristallbauähnliches

Orientiertsein korpuskularer Bestandteile in flüssiger Phase („flüssige Kristalle"). Nicht daß sich mehr oder minder Beliebiges zu einem Ganzen zusammenfindet, sondern ob und wie sich die Teilchen, um dem Gegenstand seine Sondereigenschaft zu geben, innig aneinander fügen, das allein bleibt das Entscheidende.

Gehen wir vorerst von einem einfachen Beispiel aus, etwa einem Granit und einem ihm stofflich und mineralinhaltlich gleichen Quarzporphyr. An jenem, dem Tiefengestein, zeigt sich schon makroskopisch, ungleich deutlicher jedoch im Polarisationsmikroskop, die ganze zeitliche Ausscheidungsfolge der den Granit zusammensetzenden Mineralarten, insofern das frühest Ausgeschiedene seine kristallographische Eigengestalt bewahrt und von allen späteren Ausscheidungen des granitischen Magmas umwachsen wird, während diese in ihrem Kristallwachstum sich selbst mehr oder weniger behindern und schließlich der Quarz als letzte Ausscheidung nur mehr eine zementartige Füllmasse zu bilden vermag. Man nennt ein solches Gefüge hypidiomorph-körnig. Ist aber die granitisch-silikatische Schmelze etwa lavaartig an die Erdoberfläche gelangt und, abgeschreckt unter den dort herrschenden Druck- und Temperaturbedingungen, als Quarzporphyr erstarrt, so findet man ganze Serien kristallographisch wohlausgebildeter Granitmineralien in einer ungenügend oder kaum kristallisierten und darum breiig dichten Grundmasse eingebettet, gewissermaßen darin schwimmend. Dieser Gegensatz von Einsprenglingen und Grundmasse bedingt das sogenannte porphyrische Gefüge der meisten Ergußgesteine. So gibt es nun aber in der gesamten Gesteinswelt eine wahre Fülle ähnlich gearteter Gefügetypen, die, weil petrologisch längst bekannt und erforscht, uns hier nicht mehr weiter interessieren.

Um was es sich vielmehr im Rahmen dieses Vortrags vorwiegend handeln soll, läßt sich vielleicht am besten wiederum mit einem Beispiel verdeutlichen. Denken wir uns einen von Arbeitern aufgeschütteten Haufen aus Quarzsand. Solche lockere Sande können sich übrigens je nach Umständen auch einmal gesteinsartig verfestigen, ganz ähnlich den einstigen Dünen- und Wüstensandmassen unseres Buntsandsteins der Triaszeit. Jedes Sandkörnchen ist nun im allgemeinen nichts anderes

als ein meist granitischem Verwitterungsgrus entstammendes, durch Flüsse, Wind oder wanderndes Eis verfrachtetes und auf seinem weiten Wege mehr oder weniger verrundetes Bruchstückchen eines Quarzkristalls. Der atomare innere Aufbau jedweder Kristallart aber hat vektorielle Eigenschaften, ist richtungsverschieden, das heißt zunächst: Die Atomabstände und die Aneinanderreihung der Atomarten eines Kristalls sind in den verschiedenen Richtungen des Raumes ungleich. Man vergegenwärtige sich in der perspektivischen Dar-

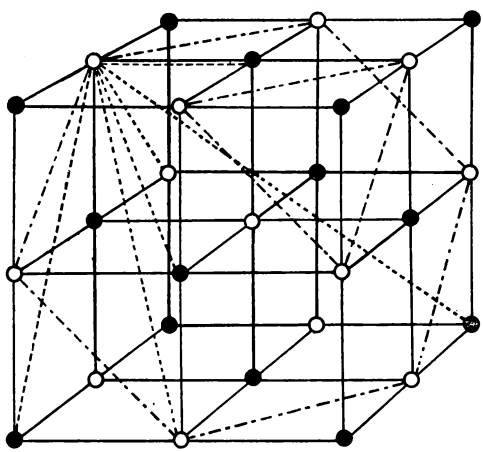

Abb. 1.
Richtungsverschiedenheit im Elementarwürfel des Steinsalzgitters.
● = Na ○ = Cl

stellung eines der einfachsten Raumgitter, Abb. 1, die Verschiedenheit in sich gleicher Abstände von Atomschwerpunkten richtungsverschiedener Gittergeraden (punktiert) und von richtungsverschiedenen Netzebenenscharen (strichpunktiert bzw. ausgezogen). Die Vektoreigenschaft bewirkt beispielsweise beim Quarz, daß die Doppelbrechung dieses optisch einachsigen Minerals in verschiedenen Richtungen des Raums verschieden, in einer Richtung aber — das ist die Richtung der optischen Achse — praktisch gleich Null ist. Es ist naturgemäß an sich zu erwarten, daß in einem entweder künstlich aufgeschütteten oder in der Natur selbst zur Ablagerung gelangten Sandhaufen, sei er verfestigt oder nicht, die einzelnen Quarzkörnchen im all-

gemeinen völlig desorientiert, kristallographisch betrachtet also wirr durcheinander liegen. Nun gibt es aber, um ein ganz besonders eindrucksvolles, fast drastisches Beispiel herauszugreifen, in Brasilien Sandsteine, dort Itacolumite genannt, bei denen die Quarzkörner an überaus feingezackten, nur im Mikroskop deutlich sichtbaren Grenzlinien miteinander verzahnt sind (vgl.

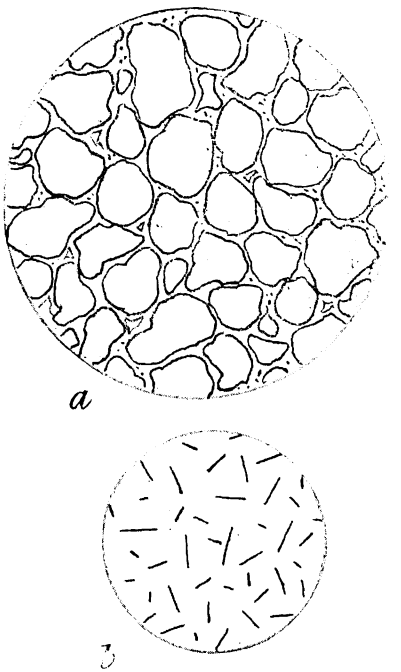

Abb. 2.
Gewöhnlicher Quarzsandstein
b) Quarzachsen ungeregelt

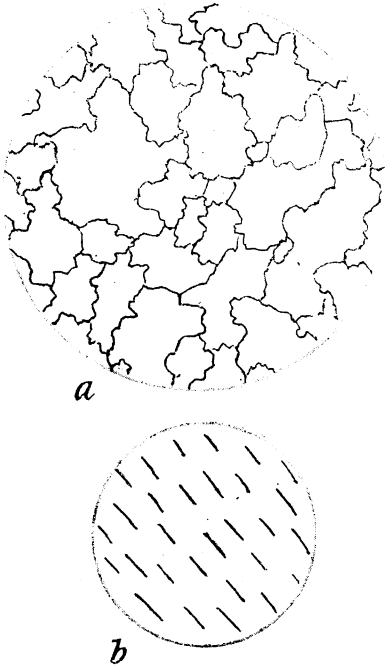

Abb. 3. **Itacolumit**
(„Gelenkstruktur" der Quarzränder)
b) Quarzachsen straff geregelt

Abb. 3 mit 2). Diese gelenkartige Verbindung der Körner bedingt, hier nur nebenbei erwähnt, bei manchen dünnplattigen Varietäten des quarzitischen Itacolumits, daß die harten Platten sich schon beim bloßen Emporheben bis zu einem gewissen Betrag durchbiegen; man hat in solchem Fall wohl etwas übertrieben von „biegsamen Sandsteinen" gesprochen. Gefügekundlich von ungleich größerer, weil ausschlaggebender Bedeutung aber ist folgendes. Unter gekreuzten Nicols löscht das polarisierte Licht überraschenderweise bei all den Körnern dieser

Itacolumitvarietät fast gleichzeitig aus; und verwendet man gar zu weiterer optischer Untersuchung einen Kompensator mit Rotviolett I, so beobachtet man, wie in den Diagonalstellungen annähernd das ganze Gesichtsfeld von Orangegelb (Subtraktionsstellung) in Indigoblau (Additionsstellung) umschlägt. Es ist beinahe so, als ob das ganze Körnerwerk einen einheitlichen Kristall, einen Einkristall, darstelle, als ob das Raumgitter des Quarzes über alle Korngrenzen hinweg den gesamten Körnerbereich durchsetze. In dieser oder auch nur ähnlicher Weise können die Quarzkörner ganz unmöglich sedimentiert gewesen sein. Es muß vielmehr in der Geschichte des Gesteins ein besonderer Akt mechanischer Kraftäußerung die einheitlich gleichgerichtete Umorientierung der Quarze hervorgerufen haben.

Diese eigenartige Erscheinung, heute allgemein als Regelung bezeichnet, ist denn auch erstmals am Quarz quarzreicher Gesteine, selbstredend nicht in der eben erwähnten sehr seltenen extremen Form, besonders aufgefallen; ja sie war es, die zur Entwicklung der modernen Gesteinsgefügekunde überhaupt den eigentlichen Anstoß gab. Als deren Hauptbegründer darf wohl Bruno Sander-Innsbruck angesehen werden. Sein 1930 erschienenes Buch „Gefügekunde der Gesteine mit besonderer Berücksichtigung der Tektonite“ hat er bald darauf durch eine umfangreiche Abhandlung unter gefügekundlicher Bearbeitung nichttektonitischer Gesteine erweitert und ergänzt. Gewohnt wissenschaftliches Neuland zu bearbeiten, ist Sander in wissenschaftlichen Dingen jeder Wiederholung abhold. Seine Gefügekunde ist denn auch nicht als eigentliches Lehrbuch gedacht; ihr Studium setzt vor allem gründliche gesteinsmikroskopische Schulung voraus. Von physikalischen Erwägungen über Körperverformung mehr begleitet als sich leiten lassend, dabei ähnlich wie Paul Niggli bezugnehmend auf sehr beachtliche Vorarbeiten über Gesteinsverformung des Amerikaners G. F. Becker, pflegt Sander seine Wege rein induktiven Forschens in jedem Einzelfalle bis zum Ende zu verfolgen. Gewissermaßen auf umgekehrtem Weg, von physikalischen Erfahrungssätzen ausgehend, findet sein ostmärkischer Landsmann Walter Schmidt-Berlin deduktiv über die Tektonik zur Gesteinsgefügekunde zurück, um als ihr seinerzeitiger tatkräf-

tiger Mitbegründer sie von mehrfach neuen Gesichtspunkten aus zu beleuchten. So gehört ja auch dessen 1932 erschienenes anregend geschriebenes Buch „Tektonik und Verformungslehre" heute mit zum geistigen Rüstzeug gefügekundlich arbeitender Tektoniker.

Die gefügekundliche Forschung hätte — es war nach Ausgang des Weltkrieges — nicht mit solcher Schwungkraft eingesetzt, wenn nicht, vielleicht mehr zufällig in diesem Anfangsstadium, kristalloptische Technik ein wertvolles Instrument in den Handel gebracht hätte, eine Nebenapparatur zum Polarisationsmikroskop, die für gefügekundliches Arbeiten von vorneherein wie geschaffen erschien. Schon gegen Ende des vorigen Jahrhunderts hatte der geniale russische Mineraloge von Fedorow eine optische Apparatur erdacht, um durch Dreh- und Neigungsbewegungen beliebig geschnittener Mineral- und Gesteinsdünnschliffe die Vektoreigenschaften der Kristalle mikroskopisch erfassen zu können, m. a. W. dem Präparat die jeweils gewünschte Blick- oder Durchstrahlungsrichtung ohne wesentliche Störung des Strahlenganges aufzuzwingen. Erst dem mathematisch-optischen Berater der Leitz-Werke Professor Berek gelang kurze Zeit nach Kriegsende eine sehr verfeinerte Umgestaltung der heute Fedorow- oder Universaldrehtisch genannten Apparatur für den praktisch vollwertigen Gebrauch. (Sein Buch über die Drehtischmethode ist mittlerweile so recht zur kristalloptischen Fibel für gefügekundliches Arbeiten geworden.)

Nun galt es durch Untersuchung von Korn zu Korn eines Gesteinsdünnschliffes, m. a. W. rein statistisch, die maßgeblichen Richtungen der betreffenden Mineralart, als da sind optische Achsen, Kristallachsen, Spaltflächen, Translationsflächen, Zwillingsebenen oder Zwillingsachsen usw., möglichst genau und teilweise rechnerisch-konstruktiv festzulegen und schließlich „Punkt für Punkt" auf ein flächentreues Gradnetz als die günstigste Projektionsebene aller Durchstoßpunkte jener Richtungen auf einer um das Präparat beschrieben gedachten Lagekugel einzutragen. (Ohne die allgemein geforderte Beigabe eines entsprechend fixierten Vermerks über Streichen und Fallen des Gesteines, dem das Handstück entnommen, hätte das Präparat nebenbei gesagt immer nur bedingten Wert.)

Das Ergebnis war: Die Mehrzahl der Gesteine und fast ausnahmslos solche, die schon äußerlich die Wirkung tektonisch mechanischer Beanspruchung erkennen ließen, aber auch viele granitische Gesteine, Marmore und dergl., die solcher äußerlichen Merkmale ganz entbehrten, wiesen in der Projektionsebene Punktanhäufungen auf, wie sie schlechterdings nicht zufälliger Natur sein können, sondern auf einer Regelung des Gesteinsgefüges beruhen müssen. Und nicht nur das, die Häufungsbereiche bildeten oftmals ganze Gürtel, teils offene, teils ringsum geschlossene oder teils auf Groß-, teils auf Kleinkreise des Gradnetzes sich verteilende. Auch Kreuzung solcher Gürtel war häufig zu beobachten. Ja eine Fülle ganz verschiedenartiger Regelungstypen stellte sich mit fortschreitender Forschung nach und nach heraus. Um über die Deutung dieser Regelungserscheinungen etwas aussagen zu können, müssen wir nun ein wenig weiter ausholen.

Alle Vektoreigenschaften der Kristalle, so die thermischen, magnetischen, elektrischen, besonders eindrucksvoll und klar die meisten optischen Erscheinungen, lassen sich darstellerisch, wie bekannt, auf Ellipsoide zurückführen, die allerdings bei weiterer Betrachtung, worauf ich hier nicht weiter einzugehen brauche, zur Ableitung noch komplizierterer mathematischer Gebilde, nämlich Flächen wesentlich höheren Grades, Anlaß geben. Aber auch für die mechanischen Eigenschaften und die mechanischen Beanspruchungszustände der Kristalle als anisotroper homogener Körper gilt, was zunächst nicht ohne weiteres einzusehen, das gleiche.

Der allgemeine, keiner weiteren Beschränkung unterliegende und darum praktisch für uns wichtigste Fall ist das dreiachsige Ellipsoid (Abb. 4). Denkt man sich beispielsweise in der Optik eines triklinen oder eines monoklinen oder eines rhombischen Kristalls von einem Punkt aus nach allen erdenklichen Richtungen des Raumes die richtungsverschiedenen Werte der Lichtbrechung abgetragen, so erhält man das dreiachsige Ellipsoid, in der Kristalloptik als Indikatrix bezeichnet. Dieses hat in allen Fällen, auch beim triklinen und monoklinen Kristall, rhombische Symmetrie, m. a. W. drei aufeinander senkrecht stehende Symmetrieebenen nebst deren Schnittlinien, den Symmetrieachsen. Denkt man sich weiterhin durch das Ellipsoid

unendlich viele Mittelschnitte gelegt, so sind diese samt und sonders Ellipsen mit Ausnahme von zweien, die Kreisschnitte sind und sein müssen. Die beiden Winkel, die diese

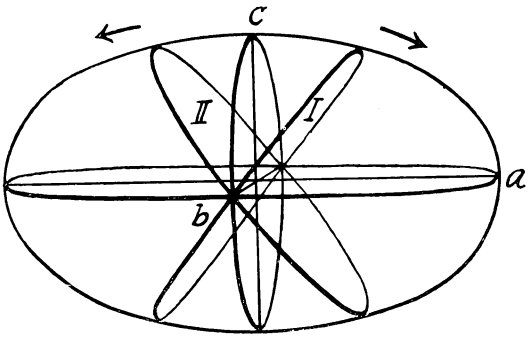

Abb. 4.
Orthogonales dreiachsiges Ellipsoid mit 3 Hauptachsen, 3 Symmetrieebenen (Ellipsen) und den 2 Kreisschnittebenen (I und II)

Kreisschnitte miteinander bilden, aber werden stets von der langen und der kurzen Symmetrieachse des Ellipsoides symmetriegemäß halbiert. Mehr der Vollständigkeit halber sei hier angefügt: beim trigonalen, tetragonalen und hexagonalen Kristall entartet das dreiachsige Ellipsoid zum Rotationsellipsoid mit nur einer Kreisschnittebene als Mittelschnitt, der „Äquatorebene", beim optisch regulären Kristall aber zur Kugel mit ihren unendlich vielen Kreisschnittebenen.

Wenn hier andeutungsweise gesagt wurde, auch die Verformung eines (vorläufig homogen und statistisch isotrop gedachten) Körpers beruhe auf Ellipsoidfunktionen, so muß man sich natürlich bewußt sein, daß die Ellipsoidfunktion streng genommen immer nur für das Körperelement (oder Körperdifferential) jeweils Geltung hat. Immerhin ergeben sich bei dieser Vorstellung nicht nur in der Natur — gedacht sei vor allem an quasi-homogene Kristallaggregate, somit im allgemeinen an die Gesteine als selbständige Körper der Erdrinde —, sondern auch beim Experiment an Probekörpern entsprechende auf Ellipsoidfunktion zurückführbare Näherungsgrößen und Näherungswerte, deren hohe Bedeutung für tektonisches und gefügekundliches Arbeiten außer Frage steht. So werden wir, kurz ausgedrückt, in drei aufeinander senkrechten

Richtungen des einseitig, also streßbeanspruchten Körpers immer nur Normalkräfte, seien es Druck- oder Zugkräfte, Pressungs- oder Dehnungskräfte, wirksam finden, in allen übrigen Richtungen des Raumes, also den unendlich vielen übrigen Ellipsenschnitten, bei gleichbleibendem Beanspruchungsplan auch Tangentialkräfte mit abscherender Wirkung, schlechthin Scherkräfte genannt (Abb. 5). Die beiden erwähnten symmetrisch zueinander geneigten Kreisschnittebenen aber erfüllen als Flächen maximaler Scherbeanspruchung die wichtigste Funktion plastischer Verformung der anorganischen Körper überhaupt.

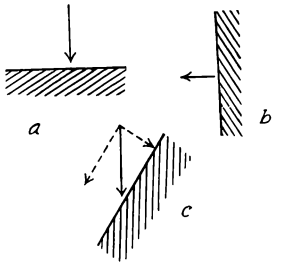

Fig. 5.
a, b Normal-Beanspruchung (z. B. Druck, Zug)
c Scher-Beanspruchung (Normal- und Tangential-Kraftkomponente).

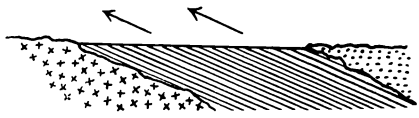

Abb. 6.
Einscharigkeit der Scherflächenbildung auf dem Gleitweg „ins Freie".

Wird m. a. W. ein Gestein über seine Elastizitätsgrenze hinaus irreversibel, somit plastisch verformt, so vollzieht sich das im allgemeinen durch Gleitbewegung der Teilchen oder in den Teilchen, indem sich diese längs den Ebenen maximaler Scherbeanspruchung dem Kräfteplan jeweils anzupassen suchen. Unter Teilchen hat man dabei die Gesteinskomponenten, im allgemeinen die Kristallkörner, zu verstehen. Nun ist es aber nicht so, daß in Funktion getretene Scherflächen immer schon äußerlich sichtbar werden müssen, so daß man gewissermaßen „die Hand darauf legen" kann. Das ist schon deshalb nicht ohne weiteres zu erwarten, weil im Laufe des Verformungsprozesses das Deformationsellipsoid sich ja von selbst wieder verformen wird, wobei mit Änderung des Längen-

verhältnisses der Symmetrieachsen auch der Winkel der beiden Kreisschnittebenen sich zwangsläufig ändert und demzufolge diese selbst immer in andere Lagen hineinrotieren. Man beachte hierzu die beiden Pfeile in Abb. 4. Sie sollen den Richtungssinn der beiderseits symmetrisch gleichen Drehung der Kreisschnittebenen um die Achse b eines unter fortdauerndem Streß sich verformenden Deformationsellipsoides andeuten. In tektonisch zulässiger Vereinfachung sei zunächst für unsere weiteren Betrachtungen diese Achse b auch in ihrem Längenwert als invariabel angenommen: es ist dies der Fall der im tektonischen Geschehen entschieden vorherrschenden sog. „ebenen Verformung", deren Bewegungsbild nur in der Ebene a c, dem allgemeinen Querprofil der Feldgeologie, zu suchen ist. Man denke etwa an einen Massentransport in sehr breiter Front oder zwischen den starren Uferwänden konsolidierter Massen — eine tektonische Frage, auf die in anderem Zusammenhange noch zurückzukommen ist.

Im Regelungsbild des Gefüges werden sich freilich trotz fortschreitender Ellipsoidverformung Endeffekt und schließlich auch gewisse Etappen maximaler Scherbeanspruchung symmetriegemäß fixieren. Dabei kommt es denn auch sehr oft zur Bildung von Parallelscharung wirklich sichtbarer Gesteinsfugen und am Ende gar — dann aber wohl stets nach Überwindung sukzessive eintretender elastischer Spannungszustände — zur kluftartigen Aufreißung solcher Fugen.

Kluftscharen im Gestein sind allerdings, nebenbei bemerkt, durchaus nicht immer mit Scherung in Zusammenhang zu bringen; machen uns doch Experiment und prüfende Naturbeobachtung mit der theoretisch betrachtet höchst eigenartigen Erscheinung bekannt, daß Klüfte oder Spalten, deren Aufreißen eine zusätzliche Zugkraft voraussetzt, auch parallel (!) der Druckrichtung entstehen können. Man hat das mit Sprengung molekularer Kraftschlüsse, also mit „inneren", oft unvermerkt zum Bruch führenden Beanspruchungen zu erklären versucht. In der Tat handelt es sich bei solchen Zerrklüften und Reißkluftsystemen, die, soweit sie nicht durch Lösungszufuhr nachträglich wieder gefüllt worden sind, meist senkrecht zur Dehnungsrichtung buchstäblich klaffen, um elastische Spannungszustände innerhalb eines möglicherweise bereits pla-

stisch verformten Gesteinsbereichs. So hat man füglich an eine nach Aufhören der dehnenden Beanspruchung eingetretene rißbildende Kontraktion (ähnlich wie bei der Schrumpfung erkaltender Schmelzen oder austrocknender Gele) gedacht. Inwieweit auch hier, wo sich, entsprechend unserer Begriffsbestimmung, die Teile ja nicht mehr „zum Ganzen fügen", dennoch ein mittelbarer Zusammenhang mit rein gefügekundlichen Erscheinungen besteht, ist zur Zeit noch wenig geklärt. An bemerkenswerten experimentellen Versuchen auch nach dieser Richtung hin hat es übrigens nicht gefehlt; von D. T. Griggs und J. F. Bell wissen wir, daß sie mit Drucken bis zu 150 000 at gearbeitet haben. Und nach rein gefügekundlichem Befund gehört wohl auch der eigenartige Zerfall der Quarze mancher Tektonite in parallel zur Druckrichtung orientierte, optisch undulöse Stengel mit hierher.

Häufig beobachtet man ferner an großen Gesteinskomplexen statt wie erwartet zweier Scherflächenscharen Einscharigkeit. Das mag verschiedene Gründe haben. Befinden sich beispielsweise primär vorhandene, etwa durch rhythmische Sedimentation entstandene Schichtflächen in wenigstens annähernd gleicher Lage zur Beanspruchungsrichtung, so können diese allein schon zu einer Scherflächenschar, sogar zu einer deutlich sichtbaren Schar paralleler Gesteinsfugen sich entwickeln, ja unter Umständen je nach Gesteinseigenschaft in straffeste Schieferung des ganzen Gesteinsbereiches übergehen. Oder es streicht von beiden rein tektonisch angelegten Scherflächenscharen die eine im Laufe des Geschehens schief gegen die Erdoberfläche aus, führt also nach den Worten Walter Schmidts „ins Freie", dann wird bei annähernd horizontal einsetzendem Schub ein laminares Gleiten der Gesteinsmasse ebenfalls nur nach dieser einen Richtung stattfinden (Abb. 6). Eine dritte Möglichkeit hat G. F. Becker in interessanter Weise geometrisch abgeleitet, worauf hier einzugehen jedoch zu weit führen würde.

Man muß bei Betrachtung solcher Großbewegungen in der Erdrinde sich überhaupt von der Vorstellung frei machen, wonach zwischen der irreversiblen Verformung fester, flüssiger und gasförmiger Körper kinematisch ein grundsätz-

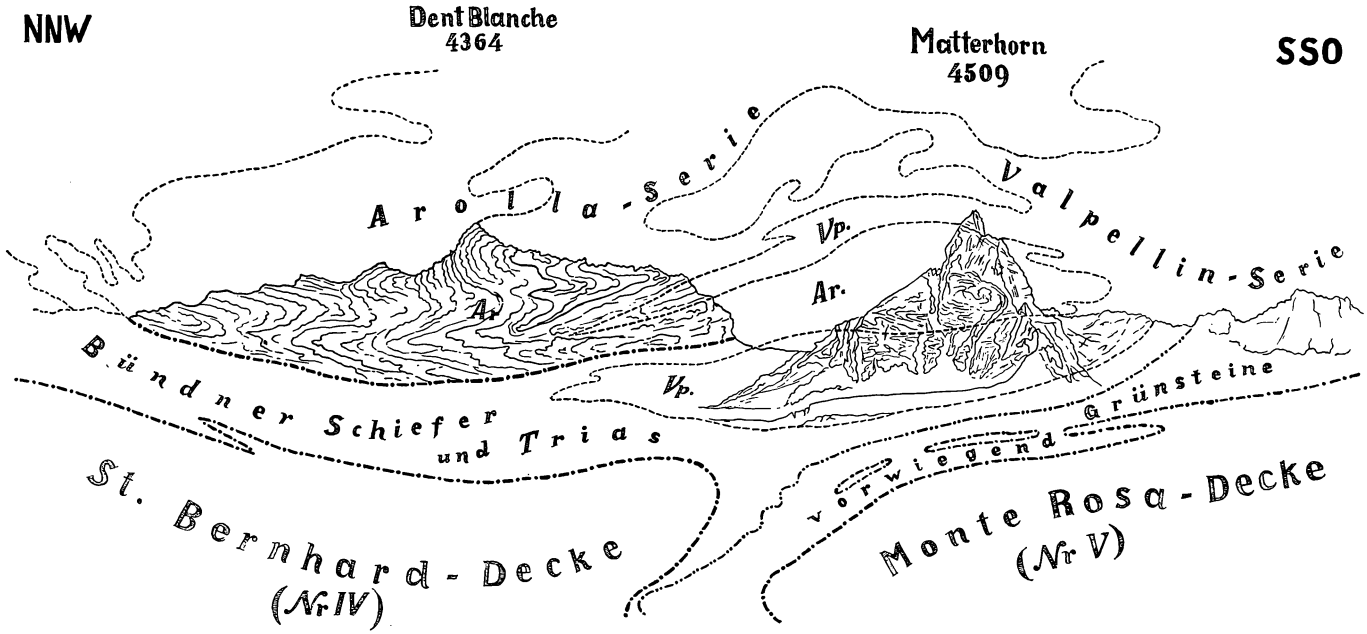

Abb. 7.

Die Dent-Blanche-Decke, oberstes Glied (Nr. VI) des penninischen Deckenbaues (nach Darstellung von E. Argand und Alb. Heim). Ein Typus von Fließbewegung der Gesteinsmassen.

licher Unterschied bestehe. Schon die Bewegungsbilder mehr oder minder tieftektonisch deformierter Gesteinsbereiche — man denke an die weit ausgreifenden Deckfalten des Simplon- und Monte-Rosa-Gebietes — erwecken ganz den Eindruck eines amöboiden Fließens oder Zerfließens ihrer Gesteinsmassen, einer Deformation an sich fester, durch Teilbewegung im Gefüge plastisch reagierender Körper. So erscheint uns heute beispielsweise das Matterhorn nach Maßgabe des genialen Rekonstruktionsversuches E. Argands nur als ein bei der Abtragung gewaltiger Deckensysteme stehen gebliebener Rest eines Faltenknäuels, der selbst wieder in sich geschlossene Serien stark auseinandergezogener und durcheinander bewegter Gesteinsmassen verschiedenster Art umfaßt (Abb. 7).

Nur ein spezieller, besonders häufiger und einleuchtender Fall von Einscharigkeit ist die sogenannte Gleitbrettfaltung. Man versteht darunter zumeist die mehr oder weniger faltenförmige Verkrümmung im Gestein sich abzeichnender Linien oder Bänder, etwa ursprünglich als ebene Platten den Schichtverband quer durchsetzender, mineralerfüllter, jedoch mechanisch bei gegebener Sachlage sich passiv verhaltender Gänge; sie ist lediglich hervorgerufen durch feinlaminare, aber ungleichmäßige („nichtaffine") Zergleitung des gesamten Gesteinskomplexes oder Schichtenstoßes (Abb. 8 und 9). Denkt man

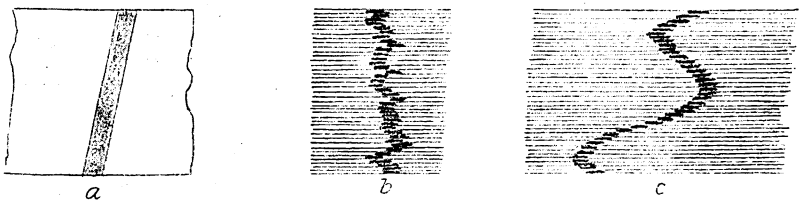

Abb. 8.
Durch Gleitlamellenbildung deformierter Quergong (ebene Platte)
a) primäre Lage, b) und c) nichtaffin zerschert;
c) unter Faltenbildung; Mittelschenkel (ohne Ausquetschung) verdünnt.

sich ferner umgekehrt, aber auf analoge Weise eine mächtige Serie verschiedenartiger Schichten durch eine schräg hindurchsetzende enge Schar nichtaffin bewegter Gleitlamellen zerschert, so können sich dadurch Falten jeglicher Form und Größe bilden,

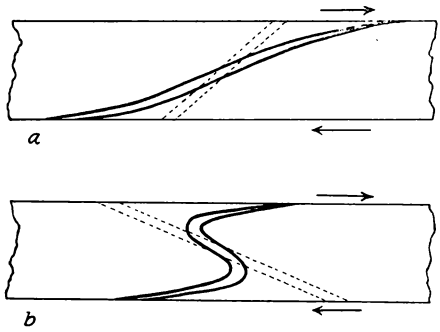

Abb. 9.
„Gleitbrettfaltung", je nach primärer Lagerichtung der mechanisch neutralen Vorzeichnung (Quergang) entsteht
a) Linsenform b) Faltenform.

ohne daß wohlgemerkt die Konkordanz des sedimentären Schichtverbandes dabei verlorengeht (Abb. 10). Der eigenartigen Digitation alpiner Deckfaltenstirnen bei deren Annäherung an die starren Widerlager alter Granitmassive (Abb. 11, schematisch, Abb. 7, links gegen den Rand), ja sogar, wenigstens zum Teil, den berühmten an die „tektonische Endmoräne" des Molasse-Vorlandes anbrandenden Faltenstirnen der Kreideformation im Säntisgebiet (Abb. 12) liegt weit eher dieser Ver-

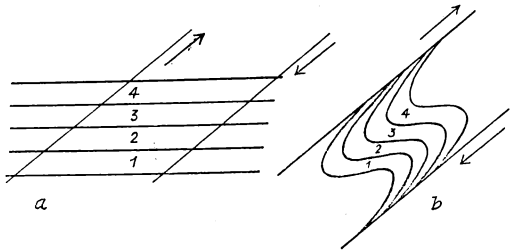

Abb. 10.
Gleitbrettfaltung analog Abb. 6 mit Erhaltung (b) der primären (a) Schichtenkonkordanz.

formungsmechanismus zugrunde als jener, mit dem man in älteren Lehrbüchern der Geologie Gebirgsfaltung zu erklären versuchte; ich meine den Vergleich mit übereinandergelegten und dann von der Seite her zusammengestauchten Tüchern. Gesteine sind eben zum weit überwiegenden Teil Kristallaggregate, und

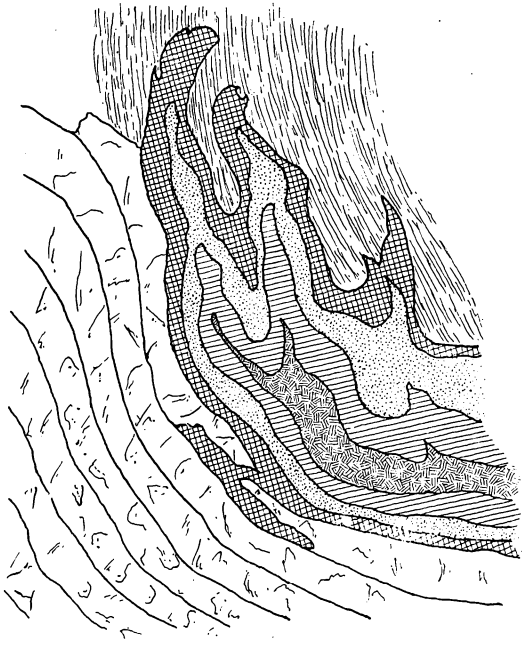

Abb. 11.

Digitation einer Deckfaltenstirne vor anstehendem Widerlager.

Abb. 12.

Schematische Darstellung (nach Alb. Heim) der Brandungsfalten in den Kreideschichten des Säntisgebirges vor der als „tektonische Stirnmoräne" wirkenden Molasse M); schwarz die Schrattenkalke, F der gestauchte Flysch.

auf mechanische Beanspruchung des Gesamtkörpers, ihn plastisch deformierend, reagiert jedes einzelne Kristallkorn in seiner Weise.

Wie verläuft nun aber diese Reaktion des Kristallkorns im Gestein? Teilbewegung im Gefüge ist, wie bereits angedeutet, zumeist mit Regelung verknüpft. Es lassen sich da zwei Hauptfälle unschwer auseinanderhalten: Regelung nach der äußeren Korngestalt und Regelung nach dem atomaren Innenbau des Kristalls. Gleichzeitiges Auftreten beider Fälle ist nicht nur möglich, sondern häufig.

Unter Erhaltung ihrer ursprünglichen Gestalt pflegen nach dem Prinzip der größten Kraftersparnis plattig oder blättrig ausgebildete Kristalle, so vor allem die Glimmer, sich in die Gleitfläche einfach einzuschlichten; säulige oder langprismatische Kristalle dagegen wie etwa die Hornblenden legen sich mehr oder weniger parallel der linearen Gleitrichtung. Es sind dies Regelungseffekte, welche sich an geeignetem Material auch im Experiment nachahmen lassen. Auf ähnliche Weise vermag sich ein Gestein, wo neben Glimmer auch Quarzkörner unorientiert durcheinanderliegen, sogar rein mechanisch zu entmischen, so daß insbesondere unter einem langandauernden und weiträumigen Massentransport des tektonischen Ablaufs eine „Zeilenstruktur" sich bildet, wobei dünne Lagen etwa nur aus Quarz und nur aus Glimmer in engstem Wechsel aufeinanderfolgen. Vielen Silikatglimmer-, ja sogar sog. Eisenglimmerschiefern, liegt diese Art von Deformation zugrunde. Und so wäre bei gewissen metamorphen Silikatgesteinen mit ähnlichem feinlaminaren Wechsel ihres Mineralinhaltes im Einzelfall immer zu prüfen, ob die Auffassung, daß es sich hier, wie man es zu nennen pflegt, um eine „magmatische Injektion von Blatt zu Blatt" handle, sich mit den gefügekundlichen Befunden verträgt.

Der Quarz, der bekanntlich zu den härtesten und sowohl chemisch wie mechanisch widerständigsten Gesteinsgemengteilen und Mineralarten gehört, reagiert besonders leicht, wenn auch teilweise nur latent rupturell, durch Umstellung seines Gitterbaues; er ist jedenfalls in diesem Sinne ungleich gefügiger als der elastische Glimmer, der den mechanischen Kräften nach Möglichkeit nur auszuweichen sucht.

Um nun bezüglich des Kräfteplans, wie er beispielsweise bei Entstehung eines Kettengebirges oder überhaupt bei mechanischem Zusammenschub großer Gesteinsmassen das Gefüge der in Mitleidenschaft gezogenen Gesteine bestimmt, Anhaltspunkte und weitere Einsicht in den Mechanismus zu bekommen, seien hier nur ein paar besonders lehrhafte Beispiele von Quarzregelung nach dem Feinbau kurz angeführt. Dabei bedarf es nur noch des einen Hinweises, daß die in der geometrischen Kristallographie übliche Bezeichnung von Symmetrieachsen und Flächenlagen analog für raumtektonische Koordinatensysteme der Gesteinsgefügekunde angewendet wird. So führen meist schon am Gesteinshandstück sich abzeichnende und es durchsetzende Lagen paralleler Schicht-, Schiefer-, Scherungsflächen oder wie man sonst es nennen will, ohne jede Rücksicht auf die Art ihrer Entstehung zunächst die neutrale Bezeichnung s. Die Richtung des Einfallens, zugleich die tektonische Haupttransport- und Durchbewegungsrichtung ist a; die Streichrichtung b ist sowohl Schnittlinienrichtung der Scherflächenscharen als auch Faltenachse (besonders wichtig bei B-Tektoniten); als c ($\perp$ ab) gilt die Richtung des Belastungsdruckes.

I. Quarzhauptachse c, d. i. kristallographisch [0001] (= optische Achse) parallel der Druckrichtung und senkrecht zur „Schieferungsfläche" s (Trenersche Regel). Kommt hauptsächlich in Betracht bei einseitiger Pressung (Streß) und geringer seitlicher Ausweichsmöglichkeit infolge gleichzeitigen, sehr hohen allseitigen Druckes, so insbesondere bei geplätteten, meist steilgestellten quarzitischen Schichten im archäischen Grundgebirge. Unter den namhaften Forschern des nordischen Archäikums war es P. Eskola-Helsinki, der darauf hinwies, daß der Quarz sich hier ganz ähnlich verhält wie der Glimmer mit seinen fast auffallend weiten Abständen der basalen Tetraederschichten des Sauerstoffgerüstes. Die Kompressibilität senkrecht zur Basisfläche $\{0001\}$ des Glimmers ist denn auch größer als die in der Richtung parallel dazu, und analoge Elastizitätsverhältnisse, nämlich 9700 kg/cm² Belastung bei 1% linearer Verkürzung gegenüber 11 000 kg liegen allerdings nicht beim Tiefquarz, wo das Umgekehrte der

Fall ist, nämlich 10304 gegen 7853, sondern beim Hochquarz vor, der erst bei Temperaturen über 575° stabil wird. Das entspricht in der Tat Temperaturen, wie man sie für die Bildung solcher Quarze in Rindentiefen des alten Grundgebirges bereits erwarten darf.

II. [0001] des Quarzes parallel Durchbewegungsrichtung a in tektonisch ab = s (Scherfläche) — Sandersche Regel. Besonders charakteristisch für mylonitische Tektonite; das sind mitunter bis zur Harnischbildung zermahlene, meist ziemlich quarzreiche Gesteine des (tieferen oder höheren) Deckgebirges orogener Bereiche. Hier aber handelt es sich stets um den nicht hexagonal-, sondern trigonal-trapezoedrischen Tiefquarz, der, wasserklare Beschaffenheit und wohlentwickeltes Flächenwachstum vorausgesetzt, allgemein unter dem Namen Bergkristall bekannt ist. Die Richtung geringerer Kompressibilität deckt sich wiederum mit der Richtung c des Belastungsdruckes, steht aber hier, wie bereits gesagt, senkrecht [0001]. Der wichtige Unterschied im Auftreten und Verhalten der beiden Quarzmodifikationen scheint darin begründet zu sein, daß parallel der Basisfläche {0001} die Sauerstoffatome beim Hochquarz ein planares Hexagon, beim trigonalen Quarz aber ein solches mit auf- und absteigenden Kanten bilden. Es schalten sich somit bei diesem zwischen die Siliciumschichten statt nur einer zwei basale und zwar in kürzestem Abstand aufeinanderfolgende Sauerstoffschichten ein, so daß beim Tiefquarz die Umkleidung der röhrenförmigen parallel [0001] das Kristallgitter durchsetzenden Hohlräume eine dichtere Packung der Atome aufweist und demgemäß einem äußeren Druck in der Achsenrichtung kräftigeren Widerstand entgegensetzt.

Die Quarzgittermodelle sind bereits zu kompliziert, um in der Abbildung jene Verhältnisse klar ersehen zu lassen. Als Behelf diene die sehr schematische Darstellung in Abb. 13.

Ein Vergleich der Diagramme Abb. 14 und Abb. 15 ist auch insofern lehrreich, als die Streuungsdichte nach Regelung I infolge der hier nicht ganz ausgeschlossenen seitlichen Ausweichsmöglichkeiten und geringen Scherungs-

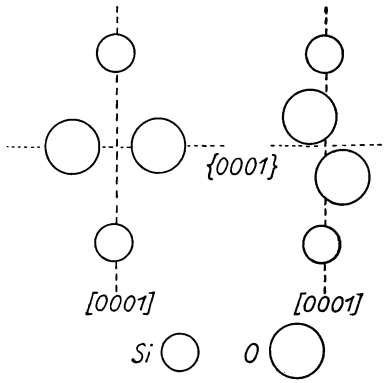

Abb. 13.
Schematische Darstellung der Atomaufeinanderfolge in Richtung der c Achse beim Hochquarz (l.) und Tiefquarz (r.).

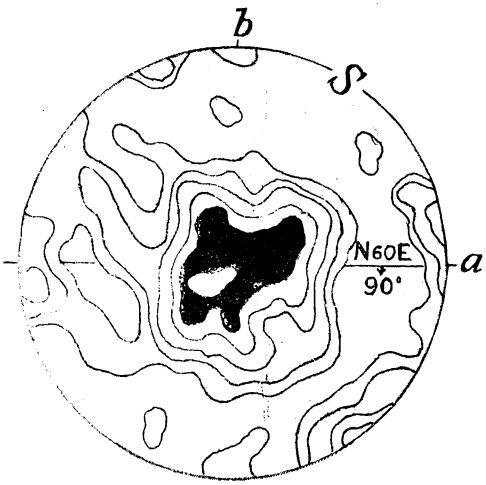

Abb. 14.
Quarzachsen-Maximum ⊥ s; mäßige seitliche Streuung durch oszillierendes Ausweichen unter Scherung. Quarzitischer Grundgebirgstektonit.
(Simsiö, Finnland).

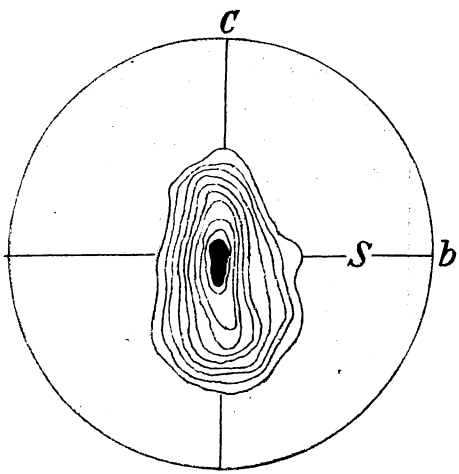

Abb. 15.
Straffe Quarzregelung mit Maximum subparallel a Harnischmylonit.
(Melibokus, Odenwald).

effekte sich weit weniger scharf heraushebt als bei Regelung II, wo ein beschleunigter Ablauf eines einmaligen intensiven Verformungsaktes angenommen werden darf.

III. Sog. B-Tektonite vom Gruppentypus Gürteltektonite. In orogenen Bereichen mit andauernder Durchbewegung oder weiträumigem Massentransport kommt es (wie bei vielen alten Gneisen der Alpen) zur Herausbildung um die Faltenachse B (= b) rotierter Scherflächenscharen, was in der Regel monoklin holoedrische Symmetrie des gefügekundlichen Verformungsbildes bedingt.

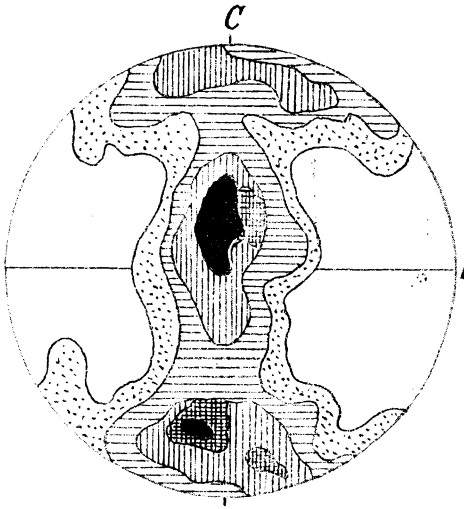

Abb. 16.
B-Tektonit.
Geschlossener Quarzachsengürtel ⊥ b mit Maximum subparallel a und Untermaxima; unvollkommener b c-Gürtel, Scherflächenrotation um a.
(Mugelgneis-Serie, Obersteiermark.)

An älteren Gneisen aus dem Gebiete der Ostalpen (Abb. 16) erweitert sich nicht selten der Gürtel quer seitlich von der Richtung c, während sein Hauptmaximum annähernd in tektonisch a liegen mag. Monoklin-sphenoidische Symmetrie kann die Folge sein. Wohl mit Recht führt man diese Erscheinung auf die parallel b wirkende, teils auch bereits sekundären O-W-Schub auslösende seitliche Spannung innerhalb der im allgemeinen nach Norden bewegten Gesteinsmassen des Alpenkörpers zurück. Der in der ursprünglichen Dehnungsrichtung des Gürteltektonits einsetzende Druck führt schließlich auch zur Rotation jener zweiten Scherflächenschar (Okl) um die Zonenachse a, und der bisher stets angenommene Hauptfall ebener Beanspru-

chung mit invariabler b-Achse ist damit zu einem Fall dreiachsiger Verformung geworden. Auch das eigenartige, fast stereotyp zu nennende Phänomen der konvex nach auswärts gerichteten Bögen vieler großer Gebirgsstränge der Erde hat man mit dieser Art des Kräfteplanes, die eine Verbreiterung der Bewegungsfront bedingt, in Zusammenhang gebracht.

Schon aus den wenigen Beispielen von Regelung nach dem Innenbau des Kristalls erhellt, daß es im allgemeinen physikalisch dafür besonders bevorzugte Netzebenen und Gittergerade sind, welche sich — im Endeffekt schließlich nicht sehr viel anders als bei der Formregelung — in die durch den allgemeinen Kräfteplan jeweils gebotenen Beanspruchungsrichtungen allmählich einfügen. Daß die dadurch bedingten Streuungsdichten (Maxima) nicht nur typenbestimmende, sondern auch symmetrieerzeugende Anordnungen aufweisen, erscheint im Lichte der Verformungs- und Gefügelehre als ein Faktum von universeller Bedeutung. Bei den Kristallen kennt man ja schon lange das beinahe rätselhaft anmutende und im ganz extremen Fall der Harmotome geradezu grotesk anthropomorphe Streben nach einer höheren Symmetrie an Stelle der dem Kristall durch seinen Chemismus gewissermaßen aufgezwungenen niedrigeren; das erreicht der Kristall wie bekannt auf recht verschiedenen Wegen. Als eine dieser Möglichkeiten erweist sich die Einwirkung einseitig ansetzender mechanischer Kraft. Es darf also nicht wundernehmen, wenn ein solcher Streß auch bei den Gesteinen durch Anisotropisierung des Kristallaggregates Symmetrien erzeugt, nach denen wir die Fülle unserer Gefügediagramme eigentlich erst zu typisieren und den Mechanismus des Einzeltypus genetisch zu deuten vermögen. Daß dies bis jetzt noch nicht in allen Fällen gelang, ist für die Weiterentwicklung der Gefügekunde nur von Vorteil, indem sie deren Reiz durch neue Problemstellungen noch erhöht.

Es sei in diesem Zusammenhang kurz erwähnt, daß im Zuge einer ständig fortschreitenden Verfeinerung gefügekundlicher Untersuchungsmethodik es möglich geworden ist, auch mehrtektonische Überprägungen zu entwirren und damit engere Gesteinsbereiche eines Orogens erstmals auf exakter Grundlage nach einem rein tektonisch-struk-

turell zu verstehenden Faziesbegriff (!) zu unterscheiden. Die gefügekundlich unschwer feststellbaren zeitlichen Beziehungen zwischen Neukristallisation und Verformungsakt spielen dabei eine wichtige Rolle. Eine in der Sanderschen Schule neuerdings inaugurierte Achsenverteilungsanalyse erbrachte ferner den bedeutsamen Nachweis der Häufigkeit von Doppelscharigkeit der Scherflächen auch im orogenen Bereich. Und in technologischer Hinsicht darf man behaupten, daß eine Aussage über das Festigkeitsverhalten eines äußerlich ungeregelt erscheinenden Gesteinsblocks (Probekörpers) ohne Heranziehung eines gefügekundlichen Befundes heute dem Vorwurf der Unwissenschaftlichkeit ausgesetzt wäre, wobei allerdings wie immer in solchen Fällen nicht in Abrede gestellt werden soll, daß durch reiche Erfahrung geleitetes instinktives Sicherheitsgefühl — aber doch nur ein solches — bisher dem Praktiker oft von selbst das Richtige zu treffen verhalf.

So hat uns die Gesteinsgefügekunde, auf deren früheste Entwicklungsphase vornehmlich die Metallurgie und die Bodenmechanik mit damals bereits vorhandenem oder gleichzeitig gewonnenem Wissensgut befruchtend eingewirkt hatte, aber auch die eingangs erwähnte völlig neue und sicheren Erfolg verbürgende Untersuchungsmethode von günstigstem Einfluß gewesen war, zu einer Fülle wahrhaft neuer Einsichten in den Werdegang der Gesteine geführt. Nicht etwa nur als nebensächlich zu erachten ist schon allein der Umstand, daß in diesem neuen Forschungszweig die bloße Anzahl der binnen weniger Jahre als notwendig erkannten und neu geprägten Begriffe mit rund fünfzig eher zu niedrig geschätzt ist. Man übersehe auch nicht den Wesensunterschied von Gefügekunde und Verformungslehre, obschon beide just dank ihres eigenen Wesens aufs engste miteinander verbunden sind und in völliger Isoliertheit heute kaum mehr denkbar wären. Die Gesteinverformungslehre freilich fußt zunächst, wie ich selber eingangs dieses Vortrags zum Ausdruck zu bringen suchte, ganz auf den Erfahrungssätzen der Physik. Macht sie sich aber, was ja zu ihren Hauptaufgaben gehört, an den Versuch einer Anwendbarkeit dieser Sätze auf die freie Natur, so sieht sie sich alsbald vor Probleme gestellt, die der Physiker von sich aus allein unmöglich zu lösen imstande ist.

Ich möchte auf die Frage nicht näher eingehen, wie abwegig es wäre, in der Vorstellung laminaren Gleitens durch Scherflächenbildung gewissermaßen ein allgemeines Rezept für Erklärung einer geologischen Falte zu erblicken oder auch nur die tatsächliche Bildung einer solchen Falte durch laminare Zerscherung als etwas Selbstverständliches und Längstbekanntes hinzunehmen. Geologische Werke von hohem Rang und aus nicht weit zurückliegender Zeit erfüllen uns zunächst nur mit Bewunderung darüber, mit welcher Naturtreue und bis in die kleinsten Einzelheiten gehenden Feinheit diese großen Tektoniker die Dinge sahen und dargestellt haben; gerade daraus aber lernen wir so recht verstehen, warum jene freilich nicht neue und schon seit Helmholtz lebhaft diskutierte Auffassung und Erkenntnis über plastische Verformung durch Scherflächenbildung sich in ihrer Anwendung auf geologische Körper, etwa Falten großen Ausmaßes, so schwer durchzusetzen vermochte und — vermag. Im stets vereinfachten Fall des Experiments ist es ja verhältnismäßig leicht, zwischen elastischer und plastischer Verformung einigermaßen scharf zu unterscheiden. Ganz anders dagegen in der Natur! In Faltengebirgen von mäßig starker tektonischer Bewegtheit beobachtet man oft riesige Schichtenstöße geologisch jungen Alters in prächtige regelmäßige Großfalten gelegt. Diese erinnern fast an den mathematischen Sinuswellenzug und das physikalische Schulbeispiel vom ins Wasser geworfenen Stein; ja sie legen sogar den Gedanken nahe, ob nicht doch diese Faltenzüge sich ähnlich verhalten wie die tropfbar flüssige Phase, daß also ein Wellenberg von geologisch Heute (ungeachtet eines bereits eingetretenen Stadiums fortschreitender Erosion) dereinst zu einem Wellental werden kann. Nicht einmal die Vorstellung sogenannter Biegegleitung vermag den Mechanismus eines solch großzügigen und wieder ausglättbaren Faltenwurfs zu erklären. Schon in anderem Zusammenhang habe ich in diesem Vortrag auf die Häufigkeit gleichzeitigen lokalisierten Auftretens elastischer und plastischer Verformung in ein und demselben Gestein oder Gesteinsbereich hingewiesen. Es handelt sich dabei hauptsächlich um Fälle von stofflicher Inhomogenität, die unter Umständen ungewöhnliches Ausmaß erreichen kann. Der Experimentator vermeidet es im allgemeinen und zwar durchaus mit Recht, mit

Körpern solcher Art sich zu befassen. Da ist es wiederum die Gefügekunde, die sich gerade hier bei einer Analysierung der Bewegungsvorgänge im Kleinbereich besonders bewährt hat (z. B. Stauchfaltengröße, B. Sander). Aber auch die auf deduktive Erklärung solch wichtiger tektonischer Naturphänomene abzielende Verformungslehre ist, um von den sehr zahlreichen Beispielen nur dasjenige der Schoppfalten mit ihrer rätselhaften Winkelkonstanz herauszugreifen, zu ganz überraschenden neuen Ergebnissen gelangt, deren Originalität (W. Schmidt) nicht in Zweifel gezogen werden kann.

Wenn wir, um zum Schluß zu kommen, im mikroskopischen Bild eines tektonisch durchbewegten Gesteins beispielsweise

Abb. 17.
Gelängte Quarze
oben in Granulit
unten in Phyllit.

Quarze beobachten, die als einheitlich erscheinende Kristalle entweder in der Form dünner Lamellen oder krummschaliger Gebilde sich zwischen Schieferungsflächen mit oder ohne Fältelung (Abb. 17) innig einfügen, wissen wir bestimmt, daß sie in solcher Art und Gestalt unmöglich auf sedimentäre Weise angehäuft worden sind. Wohl aber ließe sich denken, daß hier eben doch ein Lösungsmittel mit im Spiele war, daß also infolge einseitigen, lang andauernden Drucks auf körnigen Quarz sich dessen Löslichkeit nach dem Rieckeschen Prinzip (Erniedrigung des Schmelzpunktes [= Erhöhung der Löslichkeit] proportional dem Quadrat des Belastungsdruckes) mit der Zeit erhöht hat, wobei die gelöste Substanz an den druckfreien

Stellen des Korns durch seitliches Wachstum in die Breite wieder auskristallisiert ist. Nach gewissen optischen Merkmalen könnte freilich solche Kornverformung, wie es jene „gelängten Quarze" sind, auch rein mechanisch durch Scherflächenbildung zustandekommen und durch Rekristallisation, wie sie besonders bei kaltgereckten Metallen eine so weit verbreitete und viel diskutierte Sekundärerscheinung ist, schließlich die vollkommene Homogenisierung zum Einkristall wieder erreicht werden. Wie dem auch sei, es gibt gerade bei mechanisch durchbewegten Gesteinen immerhin Fälle genug, wo man ohne die Annahme einer flüssigen Phase nicht mehr auszukommen scheint. Man braucht dabei gar nicht an jene zahllosen Fälle zu denken, wo allein schon ein Vergleich der chemischen Analysen des verformten und unverformten Gesteins die Annahme einer stofflichen (meist hydrothermalen) Zufuhr etwa der Alkalien, des Chroms oder (bei Metasomatose) vor allem auch des Eisens zur Selbstverständlichkeit macht.

Andererseits erweist sich gerade in dieser Hinsicht ein in metamorphen Tektoniten ungemein verbreitetes silikatisches Mineral, der gemeine Granat und der natürlich als Halbedelstein etwas seltenere reine Eisentongranat Almandin, als ein besonders interessantes und lehrhaftes Objekt. Wie es zwar auch bei vielen anderen silikatischen Mineralien, in gewissem Sinne sogar in noch stärkerem Maße als beim Granat, der Fall ist, beobachtet man im mikroskopischen Bild solch umkristallisierter und geschieferter Gesteine, daß jene Silikatminerale zumeist durch besonderes Größenwachstum vor den andern Gesteinsgemengteilen sich hervorheben und daß vor allem die Schieferungsspur, gekennzeichnet je nachdem durch winzige zeilenartig aneinandergereihte Körnchen von Glimmer, Graphit oder Quarz, durch die großen Kristalle hindurchsetzt, als ob sie nicht im Wege stünden. Dies allein schon läßt darauf schließen, daß im bereits geschieferten und fest gebliebenen Gestein infolge veränderter physikalischer Bedingungen eine stoffliche Mobilisierung instabil gewordener mineralischer Gesteinssubstanz stattgefunden hat, die aber dann auf dem Wege der „Sammelkristallisation" zur Bildung von Holoblasten geführt hat. Ein solcher Holoblast oder Kristallsprößling von, wie gesagt, oft beträchtlicher Größe hat dann meist auch ein höheres

spezifisches Gewicht und geringeres Molekularvolumen, also Eigenschaften, die seine Kristallisation unter erhöhtem Außendruck besonders begünstigten (Prinzip der Raumersparnis). Oft aber zeigt — und das ist der hier ins Auge gefaßte Sonderfall des Granats — die vom Holoblasten umschlossene Schieferungstrace die Form eines sichelartig gekrümmten Doppelwirbels (Abb. 18 a—c). Darin liegt wohl der eindruckvollste

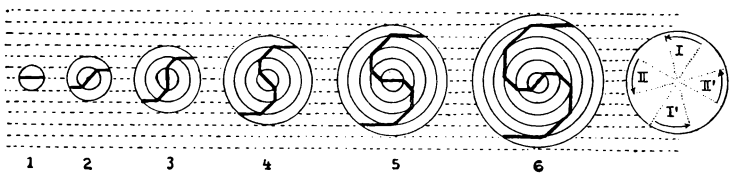

Abb. 18 a.

Schematische Darstellung der Entstehung eines Doppelwirbels im intern verlegten Reliktgefüge.

Der Holoblast (angenommen Granat) ist infolge laminaren Gleitens der Gesteinsmasse gerollt und hat während seines gleichzeitigen Wachstums die Schieferungsspuren — in der Figur ist nur eine dargestellt — jeweils in sich aufgenommen und bei seiner Wälzung mitgeschleppt.

direkte Beweis eines laminaren Gleitens in scherbeanspruchtem Gestein; denn der Granat ist hier dank seiner verhältnismäßig flächenreichen isometrischen, daher fast kugeligen Kristallgestalt während seines Wachstums, etwas bildhaft gesprochen „wie in einem Kugellager", in Richtung des laminaren Gleitens tatsächlich gerollt. Er hat dabei zunächst im Kern, dann allmählich in den weiteren Zonenbereichen seines Größenwachstums die hier vorhandenen Schieferungsspuren sich einverleibt und sie als Relikte unter fortwährender Drehung in entsprechender Weise „intern verlegt". Bei solcher und ähnlicher Sachlage gelingt es mitunter, die Wegstrecke der Wälzung des Holoblasten, ja sogar die Transportweite der gesamten Gesteinsmasse wenigstens annähernd zu errechnen.

Sehr in Betracht kommen bei allen solchen Wanderungen und stofflichen Umsätzen im festen Gestein die bekannten Erfahrungen an pulverisierten Gemengen, insofern diese, unter sehr hohen Druck gebracht, ohne weiteres Zutun zur chemischen Verbindung werden, dazu noch die Lehre von den chemischen Gleichgewichten, die auch auf dem Gebiet der für die

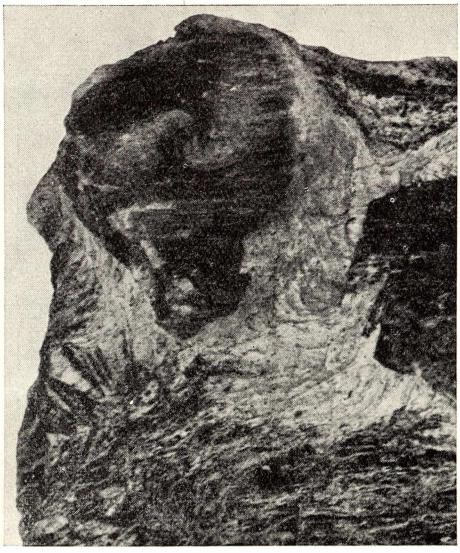

Abb. 18b.

Natürliches Vorkommen.

Links oben in Doppelwirbelform verlegte reliktische Schieferungsspur innerhalb eines tektonisch gewälzten Granatkristalls, nat. Gr. 3,5 cm Durchmesser. Der spitzwinklige Riß am untern Rande des Holoblasten ist von weißlichem, mit der lichten Masse der Druckschattenbildung zusammenhängendem Quarz erfüllt. Außerhalb der Granaten (vom rechts befindlichen nur ein Teil sichtbar) ist die Schieferungsspur durch neugebildete dünnsäulige Hornblenden markiert, die in den Druckschattenbereich regellos eingreifen.

Fundort: Felsrippe des Roßkars am Ochsner (Zillertaler Alpen).

Tektonite so wichtigen Silikate die mineralparagenetischen Verhältnisse weitgehend aufgehellt hat und in der modernen Gesteinskunde erfreulicherweise bereits einen breiten Raum einnimmt. Freilich hat man es in der Natur, wie z. B. neueste sehr eingehende, auch ausgesprochen gefügekundliche Untersuchungen an den mannigfaltigen Bildungen des Schnees und Eises uns wiederum eindringlich vor Augen führen, anstatt mit stationären Gleichgewichtslagen eher mit einem dauernden Streben nach Erreichung zwangsläufig wechselnder Gleichgewichte zu tun. Lassen sich doch die korpuskularen Änderungen an Schnee- und Eismassen, mithin an echten gesteinskundlichen und geologischen Körpern, meist nur

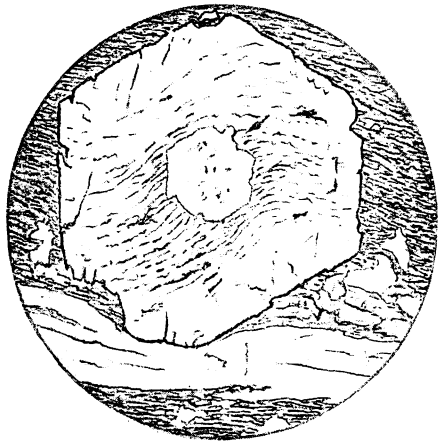

Abb. 18 c.

Gewälzter Granat (Almandin)
mit früh gebildetem Kern und gewunden verlegtem internen s auf gelängtem Quarz. Mikrosk. Vergr. 85 × im durchfallendem Licht.
Granatbiotitschiefer der Greiner Serie. Unteres Roßkar (Zillertaler Alpen).

nach Wochen oder Tagen, oft aber nach Stunden oder gar Minuten bemessen; geologisch gesehen vollziehen sich also hier Deformation und Neugestaltung mit blitzartiger Geschwindigkeit. Betrachten wir von diesem Gesichtspunkt aus die eigentlich immer nur in Momentaufnahmen sich uns zeigenden Bewegungsvorgänge in der silikatischen Rinde unseres Planeten, so verstehen wir die Erkenntnis althellenischer Philosophie: Alles ist im Fluß vielleicht in ihrer ganzen dramatischen Tiefe.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Sitzungsberichte der Physikalisch-Medizinischen Sozietät zu Erlangen

Jahr/Year: 1940-1941

Band/Volume: 72

Autor(en)/Author(s): Christa Emanuel

Artikel/Article: Über Gefügekunde als neuen Forschungszweig der Petrographie. 229-256