Zur petrographisch-tektonischen Analyse.

II. Teil.

Von Bruno **Sander.**

Vorwort.

Es bedarf meines Erachtens der Aufklärung, daß ich schon zum zweiten Male vom Wege aller früheren einschlägigen Arbeiten abweiche, nämlich das Allgemeine nicht an die Diskussion und Beschreibung von Präparaten anknüpfen kann, und daß das Experiment auch dort fehlt, wo ich selbst es nahelegen muß; was eine bekannte Gefahr für die ganze Arbeitsrichtung heraufbeschwört. Es ist dadurch bedingt, daß gegenüber der Ungunst der Zeiten die von mir besorgte Lehrkanzel sich nur unvollkommen unseren neuen Fragestellungen anpassen läßt und demgemäß das Experiment, ja sogar manche wesentliche Präparatherstellung anderen Stätten überlassen bleiben muß.

Indem ich es also einerseits für sachdienlicher halte, unter diesen Umständen wenigstens gewisse Fragestellungen und Begriffe — Einführung neuer Begriffe scheint mir derzeit fruchtbarer als die subtilste Schlußfolgerung mit alten — einem weiteren Fachgenossenkreise vorzulegen, hoffe ich doch, in einer Fortsetzung dieser Arbeit die hier fehlenden Beispiele beibringen zu können und damit zu meiner eigentlichen Richtung zurückzukehren, welche der Deduktion mit einem für den Gegenstand heute noch zu engen physikalischen Begriffsinventar die Rolle einer wesentlichen Vorschule und Erklärerin zuweist, nicht aber gestattet, Beobachtungen zu erübrigen oder nicht wahrhaben zu wollen.

Unter den Arbeiten, deren Kenntnis ich für gewisse Erörterungen für wesentlich halte und voraussetze, nenne ich mit dem Gefühl persönlicher dankbarer Achtung gegenüber zahlreichen jüngeren Metallographen und Physikern hier nur summarisch die metallographischen Arbeiten von Czochralski (zusammengefaßt in seiner „Modernen Metallographie“) die Arbeiten der Berliner Forschungsinstitute (zusammengefaßt von Masing und Polanyi, Kaltreckung und Verfestigung, Ergebnisse der exakt. Natw. II. und in der folgenden Arbeit Schmidts reich zitiert), ferner die Arbeit Schmidts „Über Gesteinsumformung“.

Wenn ich es auf dem begrenzten verfügbaren Raum für sachdienlicher halten müßte, nicht an die viel zahlreicheren Übereinstimmungen mit der letztgenannten Arbeit, sondern an die weit weniger zahlreichen, zum Teil wohl nur einstweiligen Verschiedenheiten unserer Auffassungen anzuknüpfen, so mußte dies der vorgeschriebenen Kürze halber geschehen und entspricht nicht meiner Freude über die Betonung dieser Fragen.

Die folgenden Kapitel sind einzeln und mit der für die Drucklegung geforderten starken Kürzung einer Vorlesung über derartige Grenzgebiete (Innsbruck 1924/25) entnommen und setzen Fühlung mit den Verh. G. B. A. 1923, Seite 85, genannten Arbeiten voraus.

Sie beruhen, wie man sehen wird, unter anderem auf der sicheren Hoffnung, daß die systematische Aufsuchung bisher übersehener passiver und anderer geregelter Gesteinsgefüge röntgenoptisch und mit dem Drehtisch erst das eigentliche Verständnis für die Verbreitung und Bedeutung der Gesteinsgefüge bringen wird.

Nach Drucklegung dieser Arbeit erst gingen mir zu:

Die Vorträge von Polanyi, Weissenberg und Mark (Zeitschr. f. Krist., 1925) auf der Innsbrucker Naturforscher-Tagung 1924), welche so wesentlich beitrugen zum Gelingen meines Versuches, bei dieser Gelegenheit das gemeinsame Interesse der Petrographie und Metallographie an allgemeiner Gefügekunde aufzuweisen.

Ferner der von Mügge besorgte physiographische Teil des Rosenbuschschen Handbuches, 5. Aufl.

Ferner briefliche Mittheilungen von Schmidt-Leoben über demnächst zu publizierende Ergebnisse an Quarzgefügen mit dem Drehtisch, welchen Schmidt noch vor mir praktisch anzuwenden in der Lage war.

Weitere allgemeine Eigenschaften der Gesteine schaffenden Bewegung.

Eine anhaltend darauf gerichtete Betrachtung lehrt mehr und mehr, daß es Bewegungen in der Erdrinde sind, welchen die genetisch bedeutendsten und sehr oft auch unterscheidensten Merkmale der Gesteine eindeutig oder mehrdeutig, unmittelbar oder mittelbar zuordenbar sind, in weit höherem Grade als dies üblichermaßen zu Worte kommt. Von den allgemeinen, genauerer Fassung sehr werten Eigenschaften dieser Bewegungen können hier einige nur flüchtig genannt werden: Die Beziehbarkeit auf kosmische Daten und auf Erdrindenteile, wobei im letzteren Falle bekanntlich Doppelsinnigkeit weit öfter auftritt als dies heute großtektonische und detailtektonische Darstellungen erkennen lassen; die Summierbarkeit der Teilbewegung zur Bewegung des Ganzen, wogegen leider bisweilen der unberechtigte Schluß von der Bewegung des Ganzen auf die Teilbewegung begegnet u. a. m. Andere allgemeine Eigenschaften der Erdkrustbewegung hängen enger mit der petrotektonischen Fragestellung zusammen und mögen daher wenigstens ausführlicher genannt werden.

So haben wir als eine weitere wichtige Eigenschaft der Erdkrustenbewegungen jeweils festzustellen, ob sie ohne Entmischung oder unter Entmischung erfolgen. Letzteres, indem entweder „tektonische Entmischung" im bewegten Gesteinskörper stattfindet, oder indem sich entmischtes Material von einem Gesteinskörper fortbewegt. Derartige „Entmischungstransporte" sehen wir eine Rolle spielen bei der tektonischen Trennung differenzierter Magmen, bei allen Abtransporten der durch Lösung oder Zerkleinerung gewonnenen Massen, bei der Wanderung mobiler Bestandteile (d. h. mobilisierter Bitumina, Erze usw.) bis zur internen Sedimentation im Porenvolumen eines anderen Gesteinsteiles oder metasomatisch; sei es nun, daß der Druck (wie im Falle des Öls) die Wanderung und Rast bedingt oder daß Löslichkeitsbedingungen wie z. B. in Zementationszonen der Erze das Halt gebieten.

Damit haben wir schon angedeutet, daß eine Unterscheidung nach dem Medium, in welchem der Transport erfolgt, zweckmäßig sein kann; indem man etwa interne in Gesteinskörpern vollzogene Migration und Sedimentation von externer (wässriger und äolischer) unterscheidet. Es bietet vielfache Anregung, zu beachten, daß sich, je nachdem die interne Migration in festen bis flüssigen Gesteinskörpern vorgeht, bei den teilweise fließenden Gesteinen alle möglichen Übergänge einstellen, zwischen dem Extrem der Migration auf scharfen Rupturen und ohne Reaktionen mit dem Muttergestein und dem anderen Extrem, welches z. B. vorliegt, wenn sich finnische Migmatite aus den eingewanderten Granitfeldspaten und den Bestandteilen basischer Gesteine mischen und in so vielen anderen Fällen (z. B. Feldspatisation in granitischen Teufen). So ist also bewegtes Material und Medium der Bewegung zur Kennzeichnung derselben allgemein zu unterscheiden.

Es ist ferner die Horizontalkomponente von der Vertikalkomponente der Bewegung wegen ihrer ganz verschiedenen petrographischen Wirkung zu unterscheiden. Erstere führt zu Bewegungen als Block („en bloc") oder zur Bildung von Tektoniten; im allgemeinen Falle aber nicht in rasch geänderte Bedingungen der die Erde umgebenden Felder, z. B. nicht aus den Stabilitätsfeldern der Minerale und nicht zu der dadurch bedingten Änderung der Mineralfazies. Die Horizontalkomponente kann unter Umständen das Medium ändern, in welchem bewegt wird, z. B. Schübe ins Wasser oder vom Wasser ans Festland; oder sie kann den Transport an Änderungen der Felder annähern, z. B. Überschiebung oder sedimentäre Bedachung einer Aufschmelzungszone.

Die Vertikalkomponente aber führt rasch und jedesmal zur Änderung der Drucktemperatur-Felder, damit in neue Bedingungen, welche die Stabilität der Minerale aufheben können und damit die (trockene oder feuchte) Rekristallisation des deformierten Minerals in anderer Phase bedingen.

Man würde also hienach glauben, daß es im wesentlichen die Vertikalkomponente einer tektonischen Bewegung ist, welche die Mineralfazies bestimmt. Tatsächlich vermag aber auch ein Horizontaltransport unter Durchbewegung des Gefüges die Mineralfazies eines Gesteins durchgreifend zu ändern, während am undurchbewegten Gesteine in gleicher Rindentiefe noch keine Anpassung der Mineralfazies an die Drucktemperaturbedingungen dieser Tiefe erfolgt. In sehr vielen Fällen entscheidet eben der Umstand, ob eine Durchbewegung mit „Umrührwirkung" erfolgte, darüber, ob während der Aufenthaltszeit des Gesteins in bestimmter Tiefe bereits eine Anpassung der Mineralfazies an den Aufenthaltsort stattfand oder nicht.

Damit gelangen wir zu einer weiteren wichtigen Kennzeichnung der Bewegung, nämlich zur Frage der Stetigkeit, Unstetigkeit und Rhythmik ihres zeitlichen Ablaufs. Und zur Frage ihrer absoluten Geschwindigkeit.

Letztere Frage kann dort lösbar werden, wo eine Messung an einer bekannten Geschwindigkeit gelingt. Das bekannteste, neuerlich sehr unsicher gewordene Beispiel für absolute Zeitmessung in Gesteinen ist die Zerfallszeit aktiver Minerale, sofern feststeht, von welchem Isotop man dabei auszugehen hat. Diese kann zunächst einen Rückschluß auf die Existenzzeit des Gesteins seit Bildung des Minerals ergeben. Und es wäre denkbar, doch fehlt es dafür noch an Beispielen, von da aus auf die Geschwindigkeit irgendeines Massentransportes, z. B. einer pegmatitischen Durchtränkung einer Batholithhülle zu schließen.

Eine andere Möglichkeit eröffnet sich, wenn wir lernen, in deformierten Gesteinen Deformationsgeschwindigkeit und Kristallisationsgeschwindigkeit einzelner Minerale des Gesteins in Beziehung zu setzen.

Diese letzteren Möglichkeiten sind weit zahlreicher als die ersteren. Zum Beispiel läßt sich die Kristallisationsgeschwindigkeit von Holoblasten mit verlegter interner Reliktstruktur in Beziehung setzen zur Rotationsgeschwindigkeit des Holoblasten (z. B. eines Holoblasten mit „Einschlußwirbel"). Oder es läßt sich die Wachstumsgeschwindigkeit polygonal in Falten angeordneter Minerale in Beziehung setzen zur Geschwindigkeit der Deformation, etwa gemessen durch die Abnahme des Krümmungsradius der Falte in der Zeit. Oder es ergeben sich Möglichkeiten, die Ausheilung von Spalten, d. h. die Wachstumsgeschwindigkeit der wandständigen ausheilenden Kristalle in Beziehung zu setzen mit der Geschwindigkeit der Erweiterung der Spalte, welche in vielen Fällen die Differentialbewegung einer großen Gesteinsbewegung ist.

Wie steht es nun heute mit der Frage nach der relativen Geschwindigkeit der Bewegungen in der Erdkruste, mit ihrer Stetigkeit, bzw. Unstetigkeit, Gleichförmigkeit, bzw. Ungleichförmigkeit.

Zeiten der Ruhe ohne Deformation und Durchbewegung lassen sich unterscheiden; noch besser ist es allerdings in manchen Fällen, nur von Aufenthaltszeiten und Aufenthaltsorten der Erdrindenteile zu sprechen. Unbewegtes Verweilen an einem Aufenthaltsort und unter dessen Bedingungen ermöglicht bisweilen, namentlich wenn höhere Temperaturen das Bezeichnende sind, die Ausbildung der diesen Bedingungen angepaßten Mineralfazies (Eskola), aus welchen sich dieses geologische Interim die geologisch ereignislose Zeit in der Vergangenheit des Gesteins noch mehr oder weniger gut ablesen läßt.

Weit mehr zeitliche Gliederung ergibt sich aus der Betrachtung der polymetamorphen (Königsberger) Gesteine, welche Anpassungserscheinungen an verschiedene Bedingungen und geologische Ereignisse nebeneinander beobachten und sehr oft zeitlich reihen lassen (bei Mineralgenerationen polymetamorpher Schiefer).

Nicht nur in polymetamorphen Gesteinen, sondern in monometamorphen schon ergibt sich sehr oft die Möglichkeit, zeitliche Generationen neugebildeter Minerale zu unterscheiden und damit zeitlich zu gliedern. Und immer lassen sich diese Kristallisationsvorgänge in irgendeine zeitliche Beziehung zu den Differentialbewegungen durchbewegter Gesteine bringen, woraus eine oft eingehende Gliederung der deformierenden Bewegung erfolgt. Es will diese Gliederung der Bewegung keineswegs etwa schon an sich ein Beweis der Unstetigkeit der Bewegung sein, wie dies an meinen derartigen Versuchen bisweilen mißverstanden wurde.

Derartige Studien stehen im Anfange und wir wissen noch nicht, wie weit wir von der Gliederung der Bewegungen aus dem Gefügestudium vordringen im Nachweis von Unstetigkeiten der Bewegungen oder gar von rhythmischer Wiederkehr gleicher Bedingungen und gleicher Bewegungen.

Weit mehr haben wir wohl, was den Nachweis rythmischer Wiederkehr von Bewegungen der Erdhaut anlangt, vom vertieften Studium der Transporte im Wasser direkt zu erwarten und haben dann mittelbar von der Rhythmik solcher Bewegungserscheinungen, wie sie uns rhythmisch sedimentierte Gesteine ablesen lassen, bisweilen auf rhythmische Vertikalbewegungen zu schließen, welche für vergangene, der Messung entzogene Zeiträume eben nur noch auf das feinste aus den zugehörigen rhythmischen Horizontaltransporten des Sediments nicht aber aus dem Gefüge erschließbar sind.

Zur Kaltreckung und Gefügeregelung.

Der Begriff Kaltreckung der Metallographen hat heute zum Inhalt: 1. im Gefüge, bzw. am Einkristall sichtbare Erscheinungen; 2. Eigenschaftsschaftsänderungen; 3. Hypothesen über den Mechanismus im kaltgereckten Gitter und eine gemeinsame Wurzel der Änderungen; 4. eine Temperaturangabe. Da die Eigenschaftsänderungen der gesteinsbildenden Minerale bei Deformation fast gänzlich unbekannt sind und über den Mechanismus kaltgereckter Gitter überhaupt noch keine Einigung besteht, da ferner auch die Angabe der Rekristallisationstemperatur für Gesteinsbildner nicht möglich ist, ja nicht einmal trockene Rekristallisation mit Sicherheit nachgewiesen ist, ist zwar die Beachtung der Kaltreckung an Gesteinsbildnern ein fruchtbarer Impuls, aber es scheint mir keineswegs an der Zeit, den Begriff Kaltreckung auf die Gesteinsbildner oder auf die Gesteine zu übertragen, bevor die in dieser Arbeit aufgeworfenen Kriterien geprüft sind. Um so mehr als selbst die sichtbaren Erscheinungen am kaltgereckten Einkristall derzeit etwa folgendes Nebeneinander ergeben.

Bei Deformation ohne Rekristallisation zeigen:

Metalle	Gesteinsbildner:
Verlust der Kristallfigurenätzbarkeit „inhomogene Reflexion“.	Untersuchungen hierüber erst eingeleitet. Optische Anomalien.
„Innerkristalline Linien“ Zwillinge	Ebenso
Keine rupturelle Kornverkleinerung sondern lediglich „Kornstreckung“.	Sehr oft rupturelle Kornverkleinerung. Bisweilen neben stetiger Kornstreckung (z. B. Quarz). Letztere häufig (z. B. Glimmer).

Metalle	Gesteinsbildner:
Einstellung des Gitters zur äußeren Kraft; *a)* dadurch bewirkte passive Gefügeregelungen; *b)* Einstellung in Scherflächen durch Kornrotation?	Wahrscheinliche Beispiele für *a* und *b*. Weitere Untersuchung nötig.

Ich stehe auf dem Standpunkt, daß die Übertragung der Begriffes Kaltreckung auf Minerale und Gesteine — bei denen wir schon längst von nachkristalliner Deformation sprechen — erst dann einen Sinn hat, wenn wir nicht etwa einfach Kaltreckung = Deformation ohne Rekristallisation setzen, sondern auf den Inhalt des Begriffes Kaltreckung bei den Metallographen achten.

Man sieht, daß wir erst hinsichtlich der sichtbaren Erscheinungen etwas Boden unter den Füßen haben. Aber ich glaube, daß Schmidts Verdienst keineswegs in der noch immer verfrühten Übertragung des Begriffes Kaltreckung auf alle nachkristallin deformierten Gesteine liegt, sondern in der besonders kräftigen Anregung metallographischer Studien für Petrographen durch Betonung der „Kaltreckung“ und anderer Begriffe.

Als eine Grundfrage der Mineraldeformation (nicht mit Gesteinsdeformation zu identifizieren) ist festzuhalten:

Gibt es für alle Gesteinsbildner oder für welche Gesteinsbildner gibt es Bedingungen, unter welchen sie „Kaltreckung“ zeigen wie die Metalle? Und kommen diese Bedingungen natürlich vor? Wir sind weit davon entfernt, die erste Frage theoretisch beantworten zu können und weit davon, sie praktisch experimentell beantworten zu können. Wahrscheinlich wird sie sich bejahen lassen, für alle Fälle, in welchen sozusagen diese Bedingungen der Plastizität mit den Existenzbedingungen der Phase noch zusammenfallen. Wo nicht, so werden wir eben die betreffenden Minerale nicht plastisch deformiert finden und experimentell nicht plastisch deformieren können. Sondern, wenn wir die Drucktemperaturbedingungen variieren, im Sinne einer Annäherung an die Plastizitätsbedingungen, so wird im Falle der Deformation nicht das plastisch deformierte unstabile Mineral erscheinen, sondern entweder „mechanisch chemische Deformation“ oder Rekristallisation in Gestalt eines stabilen Minerals oder mehrerer für das unstabile eintreten.

Ein Teil der Metalltechnologen (Bauschinger, Czochralski) geht von der Anschauung aus, daß sich bei Kaltreckung des Kristalls die Einzelkörner plastisch proportional zur Deformation des Ganzen umgestalten. Das ist ein Verhalten, welches wir an gestreckten und gewalzten Gesteinen schon sehr lange kennen, was die verflachte, bzw. stabförmig gewordene Gestalt der Körner anlangt. Doch ist es bekanntlich möglich, daß die Mineralkörner diese Form entweder durch Kristallisation (tektonoblastisch TMM 1911) oder durch plastische Kornumformung (tektonoplastisch l. c.) erhielten. Für letzteres, welches erst eine Analogie zu kaltgereckten Metallen ergibt, kennen wir als beste Beispiele bis jetzt monomikte Quarzite.

Wenn ein Metallograph wie Czochralski von der grundlegenden Tatsache ausgeht, daß beim wahren Kaltstrecken keine Kornzertrümmerung, sondern nur eine Kornumgestaltung stattfindet, so können wir keineswegs etwa statt nachkristallin deformierte Gesteine einfach sagen „kaltgereckte“.

Ein weites Feld für Hypothese und Experiment eröffnet sich, wenn wir vom chemischen und physikalischen Standpunkt die Verhältnisse in der Begrenzungsfläche der Gefügekörner im Intergranularennetz betrachten, z. B. im Intergranularennetz kaltdeformierter kristalliner Gefüge. Man ist sich unter Metallographen einig darüber, daß die intergranulare Zwischenschicht eine Sonderstellung im Gefüge hat (Tammann, Vogel, Czochralski, Mosing). Es grenzen da verschieden orientierte Raumgitter aneinander. Erhöhen wir nach Deformation die Beweglichkeit der Gitter durch Erwärmung, so sind es vielfach die Intergranularen, welche mit der Umkristallisation beginnen.

Es erscheinen in den Intergranularen kaltgereckter monomykter Gefüge die Gitter bisweilen stärker mit inneren unausgeglichenen Spannungen durchsetzt als das übrige Korn, bisweilen dürften die Grenzschichten erzwungen homöotrop sein. Die Lösungsgeschwindigkeit der Metalle wird durch Kaltknetung geändert. Manche Metalle, wie das Eisen, werden durch Kaltkneten schneller löslich und ihre Intergranularen werden schneller löslich als das Korninnere (Eisentypus). Andere Metalle (z. B. Cu, Al) werden durch Kaltkneten langsamer löslich, und ihre Intergranularen werden langsamer löslich als das Korninnere. Wir dürfen also keineswegs ohne weiteres eine Erhöhung der Löslichkeit durch Kaltreckung bei allen Gesteinsbildnern a priori annehmen. Es wird bei höherer Temperatur die Festigkeit des Intergranularnetzes bisweilen kleiner als die des Korns, wogegen der Kaltbruch intragranular verläuft.

Es hängt also bei Metallen in manchen Fällen die Festigkeit des intergranularen Films von der Temperatur ab.

An analogen Versuchen oder wenigstens vergleichenden Untersuchungen an Gesteinen fehlt es vollständig. Für solche Versuche kommen nur streng monomikte Gesteine in Frage. Und es ist von vornherein damit zu rechnen, daß hier vielleicht zwischen allen, jedenfalls aber zwischen sehr vielen Gesteinen und den Metallen ein sehr einschneidender Unterschied besteht. Bei allen oder nur manchen Gesteinen besteht nämlich das Intergranularnetz vor allem aus einem wässerigen Lösungsfilm. Bei solchen Gesteinen treten aber benachbarte Gitter überhaupt nur durch Vermittlung des wässerigen Films hindurch in Verkehr, nicht aber direkt in den Wirkungskreis ihrer atomaren Kräfte. Das ist die weder theoretisch noch experimental gelöste Frage nach der Bedeutung des Lösungsumsatzes in Gesteinen.

Ich möchte da zunächst wenigstens drei Kategorien unterscheiden.

1. Es sind nasse Gesteine bekannt, in deren Intergranularen wässerige Lösung zirkuliert, und zwar:

a. der Schwerkraft folgend,

b. kapillar.

2. Es sind feuchte Gesteine bekannt, in deren Intergranularen ein wässeriger Lösungsfilm liegt, welcher nicht mehr kapillar zirkuliert (nach

Terzaghis Versuchen nicht mehr verdunstet), eine sehr beträchtliche Scherfestigkeit besitzt, also z. B. nicht als Schmiermittel wirkt, sondern die Körner mit seiner Festigkeit aneinander bindet. Die Rolle dieses Films für den Lösungsumsatz ist noch unerörtert.

3. Es sind Gesteine fraglich, in welchen die wässerige Intergranulare fehlt. Man könnte sie strengtrockene Gesteine nennen.

In bezug auf alles Verhalten, bei welchem das Intergranularnetz mitwirkt, also in bezug auf Deformations- und Kristallisationsvorgänge ist nur diese letztere fragliche Kategorie der strengtrockenen Gesteine den Metallen ohne weiteres an die Seite zu stellen.

Diese Andeutungen mögen zunächst auf die Notwendigkeit sehr genauer Fassungen hinweisen, wenn die metallographischen Erfahrungen für die Petrographie deduktiv verwendet werden sollen, und sie mögen genaueres Eingehen in diesem Jahrbuch rechtfertigen, in welchem später die gewonnenen Kriterien ausgenützt werden sollen.

Bemerkungen zum Deformationsmechanismus des Einkristalls.

Die Kristallerholung der Metallographen geht auch während der Dehnung vor sich, und zwar mit einer bestimmten Geschwindigkeit. Je nach der Geschwindigkeit der Dehnung ist es also möglich, daß die Erholung die Wirkung der Dehnung (der Kaltreckung) während des Aktes schon mehrminder ausgleicht (bei langsamer Dehnung), oder aber es erfolgt die Dehnung so rasch, daß die Erholung nicht nachkommt. Es sammeln sich also die Kaltreckungwirkungen an. Und es läßt sich sowohl für Einkristalle als für Gefüge sagen, daß um so mehr Verfestigungswirkungen und entsprechende Eigenschaftsänderungen während des Deformationsaktes zustande kommen, je rascher die Deformation vollzogen wird. Und daß von einer gewissen unteren Grenzgeschwindigkeit der Deformation an nach unten keine Eigenschaftsänderungen durch Kaltreckung mehr zustande kommen; keine Anhäufungen verborgen elastischer Spannungen im Korn oder im Gefüge; also auch kein Anreiz zur Rekristallisation in gleicher oder anderer Phase. Es sind also alle diese Folgen der Kaltreckung, auch die Korngrößenänderung durch Rekristallisation, darauf angewiesen, daß die Deformation mit einer gewissen Geschwindigkeit vor sich geht. Wir kennen diese Geschwindigkeit für Minerale nicht und könnten höchstens sagen, daß sie erreicht war, wo immer wir sichere Folgen der Kaltreckung, also z. B. die auf trockene Rekristallisation weisenden Korngrößenregeln, vorfinden. Und wir könnten schneller deformierte (während der Deformation) „nicht erholte" Tektonite von langsam deformierten „erholten" Tektoniten unterscheiden.

Es ist für diese Betrachtung ferner von Wichtigkeit, daß das kristalline Gefüge schon bei weit geringerer Deformation rekristallisiert als der frei deformierte Einkristall, da die Körner im Gefüge eingespannt weit stärkere innere Verspannungen erleiden, als im einfachen freien Dehnungsversuch.

Und weiter ist für diese Betrachtung von Wichtigkeit, daß tiefere Temperatur ganz wie größere Deformationsgeschwindigkeit wirkt und also hohe Kaltreckungswirkungen begünstigt.

Für die Gesteine der Erdrinde ergibt sich hier die Frage, ob wir über Niveaus verschiedener Deformationsgeschwindigkeit, verschiedener Temperatur und demgemäß verschiedener Disposition für Kaltreckung und echte Rekristallisation etwas vorauszusagen haben.

Zunächst sind Bewegungshorizonte prädisponiert. Unter diesen wieder solche in einer optimalen Tiefe, deren Temperatur die Rekristallisation bei der gegebenen Deformationsgeschwindigkeit einerseits noch nicht durch mitlaufende Kristallerholung verhindert (wie in zu großer Tiefe) anderseits aber doch Rekristallisationsphänomene ermöglicht. Für gleiche Gesteine wird die optimale Teufe für trockene Rekristallisation für rasche Deformation tiefer liegen als für langsame.

Die Amorphiehypothese nimmt das Auftreten amorpher Strukturen anläßlich der Kaltknetung an als Ursache der Eigenschaftsänderungen. Ich habe (Jb. B. A. 1923) die Stellung eingenommen, daß an die Stelle eines einheitlichen Kristalles, das ist eines einheitlichen Gitters ein mehr oder minder geregeltes Aggregat aus Teilen des Gitters ein „Gitteraggregat" treten könne. Es ist unverkennbar, daß wir uns in diesem Falle, was das deformierte Ganze anlangt, zwischen den Begriffen Kristall und amorph befinden, villeicht mehr bei amorph, wenn wir z. B. amorphe Substanzen mit Spannungsdoppelbrechung noch amorph nennen.

Ein Argument (Polanyi, Masing l. c.) gegen die Amorphiehypothese will ich hier wegen seiner allgemeinen Bedeutung anführen. Es fällt dieses Argument in das überaus weitreichende Prinzip von der Erhaltung oder zuordenbaren Umarbeitung vorgezeichneten mechanischen Gefüges bei Durchbewegung. Ein Prinzip, welches wir die Gesteinsdeformation jeden Ausmaßes bis in die Gefügedeformation beherrschen sehen.

Die Entstehung einer amorphen, also gänzlich ungeordneten Phase aus einer kristallinen weit unter dem Schmelzpunkt, wird von der Thermodynamik aus abgelehnt für alle Fälle, in welchen die Spannungen keine dem Molekularvolumen proportionale Arbeit leisten (Polanyi, Masing l. c.). In solchen Fällen ist eine beträchtliche Verschiebung des Schmelzpunktes durch die Spannung ausgeschlossen. Damit ist für die aneinandergepreßten Gefügekörner die nötige Erniedrigung des Schmelzpunktes ausgeschlossen. Damit ist also die Schmelzung ausgeschlossen, ohne welche die Entstehung der amorphen These aus der kristallinen als unvorstellbar gilt. So daß wir eine durch Strukturen vorgezeichnete Umordnung, nicht aber gänzliche Unordnung auch bei Kaltknetung des Einkristalls begegnen.

Ich glaube, daß diesem Fragengebiete die Bezugnahme darauf unerläßlich wird, daß erzwungene Gefügeregelung bei Kaltknetung irgendwelcher kristalliner Aggregate unter gewissen Bedingungen die Regel ist, nicht die Ausnahme, wie ich dies schon vor 10 Jahren in aller Allgemeinheit auch für Metalle vertreten habe. Es könnte z. B. die dislozierte Reflexion durch Kaltknetung infolge von Regelung verschwinden und die Kristallfigurenätzbarkeit bei einer gewissen Kleinheit der Elementarteile des Gitteraggregats. Ja es ergibt sich hier meines Erachtens ein

Weg, durch Ätzfiguren zu prüfen, welcher Größenordnung die gegeneinander verschobenen Gitterteile angehören und den Bau einer solchen durch Teilbewegung im Kristall entstandenen Gitteraggregats, wie ich es (JB. 1923) genannt habe, nicht nur optisch, sondern durch Ätzfiguren zu verfolgen.

Schon Rinne hat den Röntgenasterismus der Lauediagramme bei Kaltreckung, bzw. Biegung des Kristalls festgestellt, aber nicht als Beweis für Gitterstörungen, sondern als Zeichen der Dislokation von größeren Teilen des Kristalls genommen. Man könnte meines Erachtens hier eine gewisse Analogie zu dem seinerzeit eingeführten Begriffe des optisch korrelaten Kristallitenaggregats zu einem bestimmten Interferenzbild bilden und mutatis mutandis vor allem nach den röntgenoptisch korrelaten Gitteraggregaten zu den asteritischen Lauediagrammen suchen.

Die asteritischen Lauediagramme zeigen sich in ihrer Symmetrie der Symmetrie der betreffenden Kaltbeanspruchung zugeordnet. Bei geänderter Beanspruchung ändert sich auch die Orientierung der Strahlen, z. B. sie stellen sich zur Walzrichtung ein, einer Umregelung entsprechend.

Im Falle des kaltgereckten Einkristalls geht der Kristall in ein Gitteraggregat über, welches wenigstens bei den üblichen Deformationen zwar keine Einzelpunkte, kein Lauediagramm mehr liefert, aber eine dem Einkristallgitter zuordenbare Ordnung aufweist. Es liefert die Deformation sozusagen ein durch das Gitter vorgezeichnetes erzwungenes Nachbild der Gittersymmetrie, in welchem z. B. Zonen vielfach noch erkennbar sind. Es entsteht ein Gitteraggregat, dessen Regelung sowohl vom Gitter des Ausgangskristalls als von der Deformation vorgeschrieben ist.

Wenn ich aber ein ungeregeltes Kristallitenaggregat deformiere, ist die Symmetrie der Regelung in anderer Weise eine Funktion der Deformation. Es ist ja nicht zu erwarten und am allerwenigsten bei kubischem Material, wie es Czochralski verwendet, daß irgendeine Deformation den regellosen Kristalliten Züge der kubischen Symmetrie aufzwinge.

Auch bei Czochralski tritt an Stelle des Gitters ein zwangsgeregeltes Gefüge. Ob dies wirklich, wie Czochalski annimmt, aus zwangsgeregelten Atomen an Scherflächen oder aus zwangsgeregelten Gitterteilen besteht und also ein Gitteraggregat in meinem Sinne bildet, das scheint mir jeweils die Frage. Ich halte die Umregelung von Atomen unter Umständen für denkbar und habe das unter anderem noch in die Hypothese aufgenommen, daß die Überführung einer Modifikation in eine andere durch die Spannungen der mechanischen Deformation gefördert werden kann.

Die Czochralskische Darstellung scheint mir durch den Gedanken des geregelten Gitteraggregats zu ergänzen. Sie scheint mir ein unabhängiger und ungewollter aber umso sichererer Beleg meiner 1923 entwickelten Anschauung über Kristalldeformation, sogar noch ehe wir die flüssigen Kristalle Lehmanns (JB. 1923) oder die herrlichen Bilder betrachten, welche Czochralski (l. c. 227—232) von deformierten „Einkristallen“ gibt, deren Ätzung sie meines Erachtens deutlich genug als geregelte Gitteraggregate erkennen läßt.

Die von Czochralski gewalzten Einkristalle ergaben, wie auch Polanyi hervorhebt, eine Übereinstimmung der Röntgenogramme zwischen gleichartig deformierten Einkristallen und Gefügen; meines Erachtens eben ein Beweis dafür, daß sich der Einkristall als Gitteraggregat deformiert, mit ganz gleicher Regelung der Gitterteile, wie sie eben das Gefüge mit seinen Kristalliten bei gleichartigen Deformation erhielt.

Aus Czochralskis Dehnungsversuchen am Einkristall möchte ich hervorheben; „Freiwillige Kaltstreckungen in bestimmten Richtungen ergeben in bezug auf die Zugfestigkeit eine Annäherung an Isotropie, lassen aber noch deutlich die Symmetrie der Substanz erkennen." Meines Erachtens genügt dieser letztere Umstand vollkommen, um zu beweisen, daß die Kaltstreckung eben nicht in vom Raumgitter unabhängigen Zerscherungen besteht. Es wäre diesfalls eine Abbildung der Gittersymmetrie durch den Verfestigungskörper unvorstellbar. Es kann sich also nicht um eine 45°-Zerscherung wie an einem Kolloid oder statistisch isotropen Körper handeln. Und es ist in jedem Gefüge und so auch im Gitter schwieriger, Unordnung zu erzeugen als bisweilen angenommen wird.

Von „aufgenötigter" Kaltstreckung wäre unter Umständen eine weitergehende Isotropierung des Kristalls in bezug auf Festigkeitseigenschaften zu erwarten.

Es tritt die Frage auf, ob die Teile, welche fallweise die zur Deformation des Einkristalls korrelate Teilbewegung ausführen, einen Identitätsbereich der betreffenden Sustanz umfassen oder weniger, in welch letzterem Falle die mechanisch-chemische Deformation (namentlich einer komplizierten Verbindung) mir naheliegend scheint. Es wäre in diesem Zusammenhange denkbar, unter geeigneten Bedingungen ohne Schmelzung oder Lösung nur durch einen der Metallstreckung analogen Deformationsprozeß eine unstabile Verbindung in eine oder mehrere trocken rekristallisierende feste Phasen umzukneten. In letzterem Falle könnten wir von Deformationsentmischung sprechen, als von einem der elementaren Vorgänge tektonischer Entmischung deformierter Gesteine oder anderer Gefüge.

Es scheint mir in manchen petrographischen Fällen die Annahme naheliegend, daß die bewegten Gitterteile keine Identitätsbereiche des Minerals sind und daß demnach das Mineral nicht ohne chemische Deformation „plastisch" deformierbar war. Und wir verstehen es, wenn wir das hiebei entstandene Mineral in das Beanspruchungsfeld eingestellt finden. Auch scheint mir die chemische Änderung von Mineralen an Scherflächen auf trockenem Wege von hier aus denkbar.

Meines Erachtens wäre ein Argument für oder gegen die von Czochralski angenommene ohne Translation ins Atomgefüge eingreifende Zerscherung des Gitters auch auf diesem Gebiet zu suchen.

Man hätte im Laboratorium davon auszugehen, ob eine derartige Zerscherung und damit also der Dehnungsmechanismus der Metallkaltreckung von Csochralski bei unstabilen chemischen Verbindungen möglich ist. In Fällen, wo dies zutrifft, müßte man wohl annehmen, daß die Identitätsbereiche unzerschert bleiben und die Teilbewegung also in einem geregelten Gitteraggregate in meinem Sinn vor sich geht.

Man müßte also auch in diesem Fragenzusammenhang versuchen, unstabile Verbindungen kaltzurecken und beobachten, ob hiebei eine oder mehrere neue Phasen auftreten; also anders gesagt unstabile Verbindungen nicht kaltknetbar sind, ohne sich chemisch zu ändern; wie ich es als mechanisch-chemische Deformation an Mineralien beschrieben habe.

Bei den Metallographen bezieht sich ein Hauptinteresse auf die Eigenschaftsänderungen durch Kaltreckung und auf die Wiederherstellung der Eigenschaften durch Glühwirkung. Dieses Interesse liegt für den Petrographen noch in der Ferne, obgleich es denkbar erscheint, daß das Übereinander einer geglühten und einer kaltgereckten Gesteinsschale in der Erdrinde einmal eine Rolle in der allgemeinen Geologie spielen wird. Jedoch erst dann, wenn die Eigenschaftsänderungen der Gesteine bei Durchbewegung allgemein faßbar geworden sind. Bis dahin ist unser Interesse auf das gerichtet, was wir über den Bewegungsmechanismus von Gefügen und Kristallen vom Metallographen zu lernen haben.

Eine ausgezeichnet klare Darstellung seiner Translations-Hypothese war bereits in Tammanns Metallographie vorhanden. Eine überaus eingehende Darstellung der Translationen auch mit Verbiegung der Netzebenen sowie der einfachen Schiebung zahlreicher Minerale war durch Mügge in Göttingen gegeben und liegt den bekannten Lehrbuchfassungen zugrunde. Und drittens sind die Zwangsregelungen in Kristallitengefügen seit meiner ersten Darstellung 1911 von Schmidt-Leoben und mir studiert worden und durch Niggli endlich auch in die Lehrbuchliteratur übergegangen.

Diese später auch an Metallen nachgewiesenen passiven Regelungen bedürfen einer Erklärung, welche ich in Anahmen über die Differentialbewegung während des Deformationsaktes suchte.

Und es ist für die etwas erweiterte Tammannsche Translationshypothese ins Feld zu führen, daß sie schon bei ziemlich enger Fassung eine Hypothese der Regelung zu leisten vermochte (Ib. B. A. 1923). Noch besser allerdings scheint mir die Erklärung der Regelung zu gelingen, wenn wir den Dehnungsmechanismus der Einkristalle nach Polany mit heranziehen. Dagegen ist Czochralskis Verlagerungshypothese mit den weitverbreiteten Phänomen der Regelung, insoferne sie nur die Zerstörung des Gitters behauptet, nicht vereinbar, sondern eben nur, wenn sie die Umstellung des Kristalles in ein mehr oder weniger geregeltes Gitteraggregat zu ihrem wesentlichen Inhalt macht.

Die große Bedeutung der Tammannschen Theorie, was die Differentialbewegung kaltgereckter Einkristalle und Gefüge anlangt, ist gefestigter als je: Es ist durch Polanyi und Groß sicher, daß man in bestimmten Fällen beliebig und weitgehend deformieren kann, ohne daß das Röntgenogramm sichere Anzeichen für eine „Zerstörung des Gitters“ — besser wäre vielleicht, zu sagen: für eine Aufhebung des Gitters des deformierten Ganzen — ergibt. Es ist dies nicht nur für Metalle, sondern durch Groß' Ergebnisse auch schon für Minerale (Gips, Steinsalz) gültig.

Im allgemeinen spielt aber elastische Biegegleitung und, wenn der Kristall im hemmenden Intergranularnetz des Gefüges liegt, elastische Deformation bis zur Ausbildung einer hochgradigen Inhomogenität des Kristalls eine Rolle und es ist schon vom Standpunkt des Verfestigungsproblems reine unmodifizierte Translation als Teilbewegung unzulänglich. Es lassen sich in einem solchen Kristall mit seinen Krümmungs-, Torsions- und Wirbelbewegungen „Raumgitterbezirke" verschiedener Stabilität unterscheiden (Masing). Es lassen sich solche Teile unterscheiden, einmal durch die abweichende Orientierung ihrer Gitter und durch die freie Oberflächenenergie aller gebogenen Gitter. Es ist insoferne der Kristall doch wohl bereits ein „Gitteraggregat" in meinem Sinne (JB 1923) geworden, wobei die mehr oder weniger stetige oder scharfe Abgrenzung der Gitterteile durch meinen Begriff des Gitteraggregats nicht berührt ist. Schon Tammann hat darauf hingewiesen, daß die gebogenen Gleitflächen innere Trennungsflächen mit freier Oberflächenenergie darstellen, da sich ihre Punkte nicht genau gegenüberliegen. Man könnte also jede Deformation des Kristalles mit Biegegleitung auch von hier aus als Erzeugung eines Gitteraggregats auffassen oder als Kornverkleinerung u. U. mit Erhöhung der Reißfestigkeit. Es lassen sich aber diese Raumgitterbezirke (Masing) oder Teile verschieden starker elastischer Knüllung (Polanyi, mikroelastische Deformation bis zum 100 fachen der technischen Bruchspannung) auch sonst noch unterscheiden; es sind eben Teile verschieden starker „Knüllung" und damit verschiedener thermodynamischer Stabilität. Ihr Bestreben, in den Normalzustand zurückzukehren, ist ein verschieden starkes. Wir können uns nun als Gitteraggregat mit Masing ein System solcher Teile vorstellen; nach meiner Auffassung des Gitteraggregats besteht im allgemeinen eine dem Deformationsakt zuordenbare Anordnung dieser Teile.

Diesen letzten Punkt können wir solange übergehen, als wir auf die Lagebeziehung rekristallisierter Körner zum Ausgangskorn nicht eingehen. Sobald wir aber, wie das Schmidt-Leoben nach brieflicher Mitteilung vorhat, auf diesen Punkt eingehen, müssen wir an den Begriff des geordneten Gitteraggregats anknüpfen.

Für die 1923 vertretene Auffassung deformierter Einkristalle als Gitteraggregat wären noch anzuführen A. Joffé, Kirpitschewa und Gewitzky, Leningrad (Zeitschrift für Physik, 1924, S. 286), welche finden: „Es zeigte sich, daß die plastische Deformation in einer Zerteilung des Kristalls in einzelne Teile besteht". (Resumé S. 301). Ferner scheint es mir im Sinne meiner Erörterungen 1923 zu liegen (in welchen die flüssigen Kristalle als geregeltes Gitteraggregat aufgefaßt werden) wenn sich L. S. Ornstein (Annalen d. Phys. 1924, S. 445) mit Begründung auf den Standpunkt stellt, daß der flüssige Kristall nicht aus anisotropen Molekel besteht (welche durch ein Magnetfeld geregelt werden) sondern ein Kristallaggregat mit „Elementarkristallen" darstellt, also ein Gitteraggregat in meinem Sinne.

Was nun die Verhältnisse bei einfachen übersichtlichen Deformationen anlangt, so verdanken wir dem Kreis der bei Polanyi, Masing (l. c.) genannten Forscher noch weitere wesentliche Grundlagen.

Die Genauigkeit der Einstellung des gedehnten Einkristalls zur Beanspruchungsrichtung hängt von der Temperatur ab und damit auch schon theoretisch die Genauigkeit der Regelung durch Einkristalldehnung. Auch welche Gleitflächen funktionieren, der Deformationsmechanismus also, hängt von der Temperatur ab.

Wenn wir ein ungeregeltes monomiktes Kristallitenaggregat mit plastischer Korndeformation deformieren, so haben wir ferner zu erwarten, daß sich die einzelnen Körner in verschiedenem Grade dehnbar erweisen, je nach ihrer Anfangseinstellung. Wir werden das Bild verschiedener Dehnbarkeit desselben Minerals oder Metalls haben. Es wird dies aber nicht der Fall sein und kein solches Bild auftreten, wenn das Gefüge bei Beginn der Dehnung geregelt war.

Die Versuche der Metallographen beziehen sich auf einige Metalle und sie beruhen auf besonders einfachen Beanspruchungsplänen (Einfacher Zug). Es dürfen also die erörterten Dehnungsmechanismen weder auf die Gesteinsbildner oder alle Kristalle schlechtweg übertragen werden, noch auf den Fall allgemeinster Knetung der Kristalle in einem Gefüge. Was ersteres anlangt, so ist jeder Gesteinsbildner in seinem Festigkeitsverhalten erst gesondert zu studieren, sein wahrscheinlicher Dehnungsmechanismus, der sich übrigens ja wie gesagt mit der Temperatur ändern kann, festzustellen.

Wir werden darauf zurückkommen, welche Beihilfe hier das Studium der passiven Gefügeregelungen gewährt.

Es ist ferner immer im Auge zu behalten, daß für den Fall allgemeinster Knetung der Kristalle neben der Biegegleitung und dem amorphen Zustand das Auftreten mehr minder geregelter Gitteraggregate korrelat zur Deformation möglich ist. Ferner wird die Möglichkeit mechanisch-chemischer Deformation unstabiler Minerale die ganze Angelegenheit für den Petrographen und mit der Zeit wohl auch für den Technologen komplizieren und kennzeichnen.

Durch diese und noch andere Überlegungen scheint mir das über Einkristalldeformation Bekannte und hier kurz aus den eingangs zitierten Arbeiten Referierte zu ergänzen, wenn man auf die Betrachtung deformierter Gefüge übergehen will.

Bemerkungen zur nachkristallinen Deformation der Gefüge.

Die Tammann-Heynsche Spannungs-Hypothese zur bleibenden Deformation eines kristallinen Gefüges ist in „Fortschritte d. exakt. Natw." Bd. 2 unrechnerisch dargestellt. Für Metalle gebildet und ausgearbeitet, kommt sie als ein vorbildlicher Gedankengang für die allgemeine Gefügekunde und für petrologische Betrachtung deformierter Gesteine in Betracht und ist ohne weiteres auf jedes monomykte Gestein übertragbar, wenn die Deformation unter solchen Bedingungen erfolgt, daß das betreffende Mineral ohne chemischen Zerfall (ohne mechanisch-chemische Deformation) „plastisch" deformiert ist und deformiert wird. Unter solchen Bedingungen hat die Natur z. B. Steinsalz, Quarz, Gips, Glimmer deformiert. Da der Gedankengang in den Grundlinien unabhängig davon ist, ob neben dem einen Bestandteil noch andere Gefügebildner da sind, scheint er mir auch für polymikte Gefüge modifizierbar zu sein.

Wir haben dann zu bedenken, daß sich das Festigkeitsverhalten des Gefüges aus dem Festigkeitsverhalten der Körnersorte A und der Körnersorte B additiv zusammensetzt; wenn auch nicht restlos.

Bezeichnen wir das mögliche Verhalten eines Gefügekornes bei der Deformation, indem wir dem Mineralnamen A, B, C usw. einen Index beifügen:

e für elastische Deformation des Korns,

p für plastische Deformation des Korns, also für verschiedene Kaltreckungsgrade,

r für Zerbrechung, Ruptur.

Es läßt sich dann das Verhalten des Gesteins bis zu einer gewissen Grenze aus dem Verhalten seiner Körner summieren. Zunächst können wir elastische, plastische und rupturelle Deformation an einer Mineralart A_{epr} im Gestein vorfinden. Das kann entweder von ungleicher Beanspruchung der Stellen im deformierten Körper herrühren (z. B. in einem Faltenkern), oder von ungleichen Nachbarn. Kennen wir aber den Spannungsplan der Deformation als einen gleichmäßigen, z. B. in einem gleichmäßig gewalzten oder gestreckten Gestein und entfällt der Einfluß ungleicher Nachbarn, so ist der Fall A_{epr} als ein Ergebnis der zu Beginn der Deformation verschiedenen Einstellung der A-Körner zu den Richtungen der Deformation zu überprüfen, wenn man überhaupt das Gestein technologisch untersuchen will und sich nicht mehr mit Ausdrücken wie Kataklase begnügt. Ob ein A Korn nun elastisch, plastisch oder rupturell deformiert ist, wird für sein weiteres Schicksal im Gestein bisweilen entscheidend sein.

A_e) Den elastisch deformierten A Körnern des Tektonits wird das Optimum für den Fortbestand zufallen. Lediglich wird mit der Zeit die elastische Deformation, z. B. eine Zweiachsigkeit eines Quarzes oder die Verbiegung eines elastischen Glimmers irreversibel werden. Hierüber und über die zu erwartenden geologisch wichtigen Einblicke in die seit der Deformation abgelaufene Zeit besitzen wir keine Studien. Auch die Behauptung, daß elastisch deformierte Körner nicht rekristallisieren scheint mir nicht hinlänglich geprüft. Darüber, daß der chemische Aufbau des Minerals durch elastische Beanspruchung labiler wird, handelt Rieckes von Becke übernommene Darstellung, nach welcher die A_e Körner als leichter lösliche zu Gunsten der weniger gespannten verschwinden, wo Lösungsumsatz am Werke ist.

A_p) Von den plastisch deformierten A-Körnern können wir erwarten, daß sie einem Maximum von Veränderung ausgesetzt sind.

Für diese kommen, wenn auch noch für Minerale kaum studiert, alle Eigenschaftsänderungen durch Kaltreckung in Frage. Hier gehört eine Versuchsreihe von Groß herein über die Formverfestigung von Steinsalzkristallen durch plastische Deformation. Es sind ferner die plastisch deformierten Körner A_p Mitträger der verborgenelastischen Spannung in Gesteinen und zwar quantitativ sicher deren Hauptträger, da die rein elastischen Deformationen der Gesteinsbildner überhaupt zurücktreten gegen deren plastische. Ferner scheint mir für Gesteine erfahrungsmäßig sicher, daß mit plastischer Deformation das Maximum an Labilität des chemischen Bestandes verbunden ist. Wir sehen plastisch deformierte (gebogene, zerschmierte) Kristalle etwas komplizierterer Verbindungen besonders häufig umgewandelt in eine oder mehrere, besser oder schlechter noch chemisch summierbare Tochterphasen. Oft in einer Art, welche mich zur Aufstellung des Begriffes der mechanisch chemische Deformation brachte. Ferner tritt (feuchte oder trockene?) Rekristallisation auf, und zwar derselben Phase, wenn diese stabil ist. Sonst einer oder mehrerer stabiler Phasen an Stelle der deformierten.

A_k) Bei ruptureller Deformation erfährt das Mineral außer Erhöhung der Reißfestigkeit Oberflächenvergrößerung und deren Folgen: erhöhte chemische Reaktionsfähigkeit gegenüber der Umgebung, falls eine Reaktionsfähigkeit schon vorhanden war. Also ebenfalls eine gewisse Bedrohung des Chemismus durch Lösung, nicht aber durch mechanisch chemischen Deformation oder durch Rekristallisation. Keine trockene Rekristallisation.

Es ist also auf Grund des Festigkeitsanisotropie eines Gefüge-Minerals möglich, daß eine Deformation ungeregelten Gefüges eine letzten Endes auch im Chemismus ausgewirkte Auslese unter den Körnern A trifft (selektive Deformation).

Ist dagegen das Gefüge der A-Körner bei Beginn der Deformation schon geregelt, so ist eine solche Auslese unmöglich.

Wir betrachten nun den Fall, daß elastisch deformierte A-Körner neben plastisch deformierten B-Körnern neben rupturell deformierten C-Körnern liegen. Alles im ungeregelten Gefüge.

Man findet in diesem Falle gelegentlich den Schluß, daß sich unter den Bedingungen der Beanspruchung bei gleichstarker Beanspruchung A nur elastisch, B bei gleichstarker Beanspruchung plastisch, C bei gleichstarker Beanspruchung rupturell deformierte.

Dieser Schluß ist nicht berechtigt. Vielmehr hängt bei einem polymikten Gefüge die Beanspruchung der Körner nicht nur von deren Orientierung zur Beanspruchung ab, sondern von ihrer Einbettung, von ihren Nachbarn, und damit vom Gefügetypus. Was bei der Deformation im Gefüge vor sich geht, ist eine Anzahl unter Umständen von Korn zu Korn schon verschiedener, kleiner Festigkeitsversuche. Was sich bei diesen Festigkeitsversuchen ändert, ist nicht nur die Orientierung zur gerichteten Beanspruchung, wie im monomikten Gestein. Sondern von einer gerichteten Beanspruchung des ganzen Gesteins kann z. B. auf ein Feldspatkorn viel mehr entfallen, wenn es zwischen Quarzkörnern liegt, als wenn es von plastischem Glimmer umflossen ist. Es ist das erste Feldspatkorn, z. B. einer Drucklast bis zur Druckfestigkeit des Quarzes ausgesetzt. Aber schon das zweite Feldspatkorn nur einer Drucklast bis zur Drucklast des leicht fließenden Glimmers. Jedes Gefügekorn ist höchstens bis zur Festigkeit seines Nachbars belastet, z. B. gerichtetem Druck ausgesetzt. Aller übrigen Belastung des Gesteins entspricht der von der plastischen

Korngattung vermittelte Druck. Dieser wird auf ein von plastischen Körnern umgebenes Korn als hydrostatischer Druck übertragen und kann nicht deformierend wirken, wohl aber die Stabilität der betreffenden Verbindung aufheben und so z. B. bewirken, daß das deformierte Korn nicht in gleicher Phase rekristallisiert (einfache oder multiple heterophasische Rekristallisation; u. zw. feuchte oder trockene). Es ist also die Festigkeitsbeanspruchung eines Kornes nicht nur von der Orientierung zur Beanspruchung des Gesteins, sondern zu allermeist wie gesagt von seiner Einbettung abhängig. Wir erhalten also im polymikten Gestein schon für ein bestimmtes Mineral eine weit größere Mannigfaltigkeit der Beanspruchung und also auch der Reaktion darauf als im monomikten Gestein. Wir haben nicht nur mit verschiedener Einspannung, sondern mit einem Absinken des gerichteten Druckes unter Umständen bis 0 zu rechnen. Wenn eine Körnersorte fließt, so erfahren unter Umständen dieser benachbarte Körner hydrostatischen Druck neben übertragenen gerichteten Drucken bis höchstens zur Maximalfestigkeit ihrer Nachbarn.

Die Wirkung der Kaltreckung steigert sich (Czochralski) außerordentlich, wenn das betreffende Gefüge nicht mit freier seitlicher Ausweichsmöglichkeit, sondern unter mehr oder weniger vollkommener Umschließung deformiert wird. Die uns in der Gesteinskunde begegnenden Deformationen der Gesteinsgefüge sind meist solche unter allseitiger Umschließung.

Auch beim Einkristall, der mit Umschließung, also von außen ringsgehemmt deformiert wird, also im (monomikten oder polymikten) Gefüge liegt, sind die Wirkungen der Kaltreckung viel beträchtlicher als bei von außen ungehemmter Deformation.

„Die intergranularen Kräfte, welche den Inhalt des Gefüges auch während der Deformation hindern, hemmen die freie Entfaltung des beschriebenen Dehnungsmechanismus.“ (Polanyi, Masing l. c.)

Das Verhalten von Intergranularen ohne Intergranularsubstanzen ist gekennzeichnet, wenn man sagt:

1. Sie hemmen den Dehnungsmechanismus der Körner (Polanyi) bzw. bedingen eben andere Deformationsmechanismen;

2. Sie belasten dadurch in einer Weise, deren Abhängigkeit von der Gleitreibung zwischen den Körnern sicher, aber noch nicht durchgreifend diskutiert ist, und wie ich annehme u. a. mit der intergranularen Schubfestigkeit, bzw. Reibung steigt, die Einzelkörner mit verborgenelastischen Spannungen.

Es hängen also sämtliche Kaltreckungswirkungen im Korne und damit die meisten Kaltreckungswirkungen in manchen Gefügen, in welchen werden wir erörtern, von der Größe der intergranularen Gleitreibung ab; leider, wie ich glaube, nicht eindeutig.

Es wird auch hier wieder eine Typisierung des Verhaltens monomikter und polymikter Gefüge erreichbar sein.

Von metallographischer Seite ist anscheinend die Frage unbehandelt, welcher Art die „Haftkräfte“ in der Intergranulare sind, welche den

Dehnungsmechanismus der Körner hemmen. Fragen wir nun also, ob der Dehnungsmechanismus des Kornes im allgemeinen Schubspannungen in der Intergranulare oder Spannungen normal auf die Intergranulare wachruft. Ob die Intergranulare auf Schub oder auf Reißen oder auf Normaldruck beansprucht wird.

Wir betrachten den einfachsten Fall: beliebige Knetung des monomikten Gefüges aus nichtkristallinen Körnern. Ein mechanisches Gefüge im Gegensatz zu einer mechanisch homogenen Masse besteht dann, wenn sich bei Deformation des Ganzen einzelne Teile (z. B. Körner) reell unterscheiden lassen. Dies ist (siehe unten) allgemein dann der Fall, wenn in der Intergranulare die bezogene Schubfestigkeit (σ_i) nicht gleich ist der bezogenen Schubfestigkeit an anderen Stellen, also im Korn. Es ist, einer vereinfachenden Annahme gemäß, keine Intergranularsubstanz da, und die Intergranulare durch geringere bezogene Reißfestigkeit oder bezogene Schubfestigkeit als die im Korne (σ_k) ausgezeichnet.

$$\sigma_i < \sigma_k \quad \text{oder} \quad \frac{\sigma_k}{\sigma_i} > 1$$

Es läßt sich allgemein zeigen, daß bei Knetung eines Körpers scherende Kräfte eine entscheidende Rolle spielen gegenüber den normal zu irgendeinem reell oder ideell umgrenzten Teile des Körpers angesetzten Kräften. Wenn wir in unserem Falle eine Knetung des Ganzen vornehmen und das Ganze durch ein reelles Intergranularnetz in Teile geteilt ist, so werden auch an der Oberfläche dieser Teile bei Deformation des Ganzen Schubspannungen im Intergranularnetz die weitaus größere Rolle, die entscheidende Rolle spielen gegenüber den Spannungen normal zum Intergranularnetz bzw. zur Korngrenze. Wir kennzeichnen also unser Gefüge genügend durch die Festsetzung, daß die bezogene innere Reibung zwischen den Körnern kleiner ist als in den Körnern. Ist dies der Fall, so verhält sich das Ganze bei Deformation als Gefüge mit unterscheidbaren Teilen als reelles Gefüge.

Unter den „Haftkräften" spielen also die Schubspannungen in den Intergranularen bei Deformation des Gefüges eine Hauptrolle. Es ist insoferne das Gefügekorn peripher zunächst auf Scherung, subparallel zur Intergranulare beansprucht. Dem ganz entsprechend können wir in vielen Fällen, wo diese randliche Deformation mit einer Phasenänderung bzw. mit einem Zerfall in neue Phasen verbunden ist (mechanisch-chemische Deformation) eine ganz dieser Beanspruchung entsprechende passive Einregelung der neuen Phase in die Kornkontur bzw. in die Intergranulare setzen (z. B. Glimmer- umschmiegte Feldspatkörner in Gneistektoniten).

Wie sieht nun die Beanspruchung des Korns bei Knetung des Gefüges außerdem aus?

Eine Beanspruchung auf Zug von den Enden aus, wie etwa in einem Dehnungsexperiment unter Umschließung würde eine unwahrscheinliche Reißfestigkeit in den Intergranularen fließenden Gesteins fordern und bleibt also außer Betracht. Dagegen kann im polymikten Gefüge durch ein bereits fließendes zweites Mineral, welches das erste umschließt, und mit genügender Reibung daran haftet, das erste Mineral einem Zugversuch im abfließenden zweiten Mineral ganz ebenso unterworfen sein, wie der viel zitierte gestreckte und zerrissene Belemnit in toniger Einbettungssubstanz. Auch dies ist ein Sonderfall, welcher (Walzung mit) Streckung eines bestimmten polymikten Gefüges voraussetzt.

Dagegen haben wir unter den am Korne normal angreifenden Kräften Druckkräfte zu nennen, umsomehr als auch jede Behinderung des Ausweichens durch einen festeren oder vektoriell festeren Nachbar einer Beanspruchung durch Druck gleichkommt. Den Dehnungsmechanismus zur Beanspruchung des Korns durch Druck normal zur Korngrenze können wir aus dem Zugversuch mehr oder weniger erschließen. Nur haben haben wir mit einem bedeutend stärkeren Wechsel der Spannungsfelder zu rechnen, als etwa an der Stelle mit Biegegleitung im einfachen Einkristallzugversuch: es wird im gekneteten Gefüge der Druck bald aus dieser bald aus jener Richtung kommen und Gegenüberdruck ebenfalls bis zur Druckfestigkeit des Korns wachrufen. Es sind in diesem Fall nicht die „Haftkräfte" der Intergranularen, sondern die vektoriellen Festigkeiten der Nachbarn, welche den Gleitmechanismus umsomehr behindern, je größer sie sind, gleichviel ob ein monomiktes oder polymiktes Gefüge vorliegt. Wir werden also sagen: Es sind die bezogene intergranulare Schubfestigkeit und die vektorielle Druckfestigkeit der Nachbarkörner, welche den einfachen „Dehnungsmechanismus" des Korns an seiner Entfaltung hindern und damit die innere Veränderung des Korns und deren Folgen die Eigenschaftsänderungen durch Kaltreckung steigern, gleichviel wie man erstere auffaßt. Rascher Wechsel der Einspannung und der Blockierung durch Nachbarkörner und im eigenen Gitter bezeichnen außerdem die Deformation des Gefügekorns bei Gefügeknetung.

Die vektorielle Druckfestigkeit der Nachbarkörner nähert sich im monomikten g e r e g e l t e n Gefüge der des betrachteten Korns. Es wird also in solchen Gefügen ein gemeinsames, gleichsinniges Ausweichen aller Körner demselben Drucke gegenüber naheliegen und sich das Gefüge wie in allen anderen Beziehungen, so auch in dieser dem Einkristall nähern. Leider fehlen entsprechende, bezüglich der Deformation eines Gefügekorns belehrende Einkristallversuche, welche dem Einpressen eines Korns zwischen anderen entsprächen (Prägeversuch).

Passive Gefügeregelung (statistische Anisotropie durch Deformation).

Trotz der wenigstens zum Teile vorerörterten Schwierigkeiten, halte ich den Hinblick auf die Ergebnisse der Metallographen auch hier wieder für eine ganz unerläßliche Grundlage allgemeiner Petrographie und allgemeiner Geologie. Letzteres, woferne man anerkennt, daß die heute bereits ersichtlichen allgemeinen Gesetze der Deformation von Kristallen und kristallinen Gefügen denn doch eine Grundlage bilden für eine Wissenschaft, die gezwungen ist, soviel von deformierten Gesteinen zu reden.

Um in den Gegenstand weiter einzugehen als in der ersten Folge (Jb. 1923) dieser Grundlagen verweise ich zunächst auf die Übersicht über Gleitrichtungen und Gleitflächen von Metallen mit bekanntem Gitter (siehe z. B. Masing und Polanyi, Ergebnisse d. exakt. Natw., Bd. II, S. 209). Die aus dieser Grundlage hervorgehende Kennzeichnung des Einstellungsmechanismus der Metallkristalle zu äußeren Kräften und die allerdings noch sehr unzulänglichen mineralogischen Daten[1]) müssen bis auf weiteres als Grundlage für die Betrachtung passiver Gefügeregelung in Gesteinen gelten.

1. Die dichteste Netzebene ist die beste Gleitfläche; die dichteste Gittergerade ist die beste Gleitrichtung. 2. Sie stellt sich gemäß dem Dehnungsmechanismus bei Zug subparallel (bis zu dem von der Temperatur abhängigen Grenzwinkel) zur Zugachse ein. Ebenso die dichteste Netzgerade, welche die beste Gleitrichtung ist. Diese beiden Sätze, welche die vorläufige und begrenzte Erfahrung resumieren, sind zunächst im Einzelnen daraufhin zu prüfen, welche Freiheit sie der Kornorientierung belassen, welche ihnen gehorsam erfolgt; wofür zunächst ein Beispiel gegeben wird.

A) Zug; Bezugsrichtung: die Zugrichtung, eine Gerade z.

1. Netzgeraden-Einstellung: die dichteste Gittergerade G subparallel zu z. Freiheit des Gitters bei dieser Einstellung: Rotation um G.

2. Netzebenen-Einstellung: die dichteste Ebene E subparallel zu z. Freiheit des Gitters: Rotation von E um z, Rotation des Gitters um die Normalen auf E für jede Stellung von E.

Diese Freiheiten ergeben nun jeweils die Kennzeichnung einer mit dem betreffenden Dehnungsmechanismus des Einzelkorns erzwungenen passiven Regelung (eines ganz ungeregelten Gefüges), hinsichtlich Art und Genauigkeitsgrad der Regelung, wenn man zur Charakteristik des letzteren noch den „Grenzwinkel" heranzieht. Dasselbe gilt für die vorerst hypothetische Annahme, betreffend die Korneinstellung auf Druck.

B) Druck; Bezugsrichtung: die Druckrichtung, eine Gerade d.

1. Netzgeraden-Einstellung: die dichteste Gittergerade G subnormal zu d. Freiheit des Gitters: Rotation um G und Rotation um d.

2. Netzebenen-Einstellung: die dichteste Gitterebene E subnormal zu d. Freiheit des Gitters: Rotation um d.

Wir ersehen daraus ganz allgemein: Bei der Einstellung zum Zug ergibt die Netzebenen-Einstellung die größere Freiheit für das Korn, also die weniger genaue Regelung des Gefüges als die Netzgeradeneinstellung.

Bei der Netzebenen-Einstellung eines Gefüges auf Zug kann also E um z rotieren und das Korn um die jeweilige Normale auf E, z. B. ein Zinkgefüge könnte durch Zug so geregelt werden, daß sich die Basis des Zn subparallel zum Zug z stellt. Mit der Erfüllung dieser Forderung ist aber nur eine Gefügeregel von der bereits gekennzeichneten Freiheit der Einzelkörner gegeben. Dabei bringt die Rotation der

[1]) Wyckoffs „Structure of crystals" ist mir in Innsbruck nicht zugänglich.

Einzelkörner um die jeweilige Normale auf die Basis (also um c des Zinks) keine Verschiedenheit der Körner in Bezug auf Ellipsoideigenschaften, also z. B. keine optische Unterscheidbarkeit der Körner mit sich; wohl aber bereits neue röntgenoptisch unterscheidbare Gitterlagen.

Die andere Freiheit der Körner dagegen, Rotation um die Zugachse z, bringt Kornlagen mit sich, deren Verschiedenheit nicht nur röntgenoptisch, sondern auch in Bezug auf Ellipsoideigenschaften, z. B. optisch wahrnehmbar ist.

Die Rotation der Körner um z ist also optisch, die Freiheit um c zu rotieren, nur röntgenoptisch wahrnehmbar. Nun aber machen wir die Annahme, daß sich die Zinkkörner mit den Netzgeraden subparallel z einstellen, was eine Rotation um die Netzgerade G freiläßt.

Diese Rotation um G ist in unserem Falle des Zinks schon optisch wahrzunehmen. Und zwar wird die dadurch hervorgerufene Erscheinung der Rotation des Korns um z umso ähnlicher werden, je kleiner der Grenzwinkel ist; je mehr also G mit z eben zusammenfällt. Wir werden also nur röntgenoptisch gut unterscheiden können, ob die Regelung des Zinkgefüges nur durch Einstellung der Netzebene oder durch Einstellung der Netzgeraden erfolgt ist.

Wir werden ein Zinkgefüge vor uns haben, dessen c-Achsen in der Ebene normal zum Zug irgendeine Lage haben, also z. B. beliebig auf den Tisch gestreute, nach der Hauptachse gestreckte Zinkstengel.

Das ist dieselbe Anordnung gegenüber Streckung, welche ich schon vor 10 Jahren an Quarzgefügen zu erkennen glaubte und beschrieben habe, bevor in der Metallographie von Deformationsstrukturen die Rede war.

Eine Regelung durch Druck nach der früheren unbewiesenen und rein versuchsweisen Annahme wäre eine weit genauere, schon bei bloßer Einstellung der Netzebene zu d, als im Zugexperiment bei bloßer Einstellung der Netzebene zum Zug. Sie wäre so genau wie die Regelung im Zugexperiment bei Einstellung der Netzgeraden. Diese wäre ganz analog der des Quarzes normal zum Druck. Und eben dies spricht einigermaßen für eine Einstellung von (0001) in die Walzebene. Die Einstellung in eine Scherfläche (Schmidt), also etwa 45° zur Walzebene ist aber als gleichwertige Möglichkeit bei weiteren Untersuchungen zu bedenken.

Polanyi hat das Ergebnis (l. c. 210) wie folgt formuliert:

„Aus dem Überblick der Gleitrichtungen, Gleitflächen und der Punktdichten ersieht man einen deutlichen Parallelismus von Gleitfähigkeit und Besetzungsdichte. Ob, bzw. inwiefern, dieser Regel allgemeine Gültigkeit zukommt, ist freilich noch unbestimmt. Einen gewissen Anhaltspunkt dafür, daß sie auch für raumzentrierte kubische Gitter gilt, liefert der Umstand, daß man von ihr ausgehend die Deformationsstruktur dieser Metalle erklären kann."

Nun gibt es meines Erachtens kein rationelles Studium des Gefüges deformierter Gesteine mehr, ohne daß man diese Ergebnisse der Metallographen, und meine Hinweise auf die allgemeine Rolle der passiven

Gefügeregelung seit 1911 mit in Betracht zieht, nicht weniger Schmidts wesentliche Beiträge, von dessen Mechanismus der Quarzregelung in Scherflächen noch später die Rede ist.

Der Überzeugung, daß noch unerkannte aktive und passive Gefügeregelung (bzw. Wachstums- und Deformationsstrukturen) heute schon ein wesentliches Arbeitsfeld der Gesteinskunde bilden, entspricht ein weiteres Eingehen auf Geometrisches und auf Wege zur Analyse, wobei den in Innsbruck nicht verfügbaren röntgenoptischen Mitteln entsprechend, hierüber in letzterer Hinsicht nur Weniges in Umrissen angeführt wird.

Für die Behandlung der Frage nach der Gesamtheit der möglichen Achsenlagen für das ohne Störung des optischen Regelungsphänomens um seinen Mittelpunkt pendelnde dreiachsige Ellipsoid, haben wir die Verzeichnung der Achsenlagen auf einer konzentrischen Lagenkugel gewählt, als mir Ing. Pernt 1916 diese Frage geometrisch behandelte (Jahrb. d. Geol. B.-A. 1923, pag. 231). Eine Lagenkugel haben auch Polanyi (1921) und Weißenberg (1922. Ann. Phys.) gewählt, um eine präzise Definition des anisotropen Zustandes eines Kristallitenaggregats einzuführen, welche ich nach Weißenberg (l. c. pag. 413) zitiere:

Es „gilt ein Kristallitenaggregat in der Umgebung eines Punktes als statistisch ungeordnet und folglich isotrop, wenn jede kristallographische Richtung sich gleichmäßig auf alle Raumrichtungen verteilt, die Lagenkugel somit gleichmäßig mit Repräsentationspunkten belegt ist.“

Damit eine Anisotrophie vorliegt, ist es notwendig, daß mindestens eine kristallographische Richtung durch eine ungleichmäßige Dichteverteilung ihrer Repräsentationspunkte charakterisiert ist.

Wird bei Erfüllung dieser Bedingung die volle Lagenfreiheit des Korns gleichmäßig ausgenützt, so erhalten wir eine gleichmäßige Rotation des Gitters um die Gittergerade g, welche die Häufungsstelle erzeugt. Wir erhalten damit die maximale Bewegungsfreiheit des Korns oder jene maximale Freiheit der Kornlage, welche mit der Anisotropiebedingung Weißenbergs vereinbar ist (Minimalregelung anisotroper Gefüge). Wir können von theoretischen Graden der Kornfreiheit und von theoretischen Genauigkeitsgraden der Regelung sprechen und unseren Fall als ersten theoretischen Freiheits- oder Genauigkeitsgrad der Regelung bezeichnen.

Die „Art der Regelung“ ist die nach einer Gittergeraden g. Die Charakteristik oder den praktischen Genauigkeitsgrad der Regelung ergibt der Streuungswinkel $\sphericalangle \gamma$ der Gittergeraden g auf der Lagenkugel. Ist diese Streuung keine gleichmäßige um den Pol, so reicht der $\sphericalangle \gamma$ nicht zur Charakteristik der Regelung: inhomogene Regelung. Es ist dann das Häufungsfeld von g (H) nicht nur durch die nötigen Winkelwerte, sondern vor allem durch seine Symmetrie zu charakterisieren, am besten mit Ausdrücken analog der kristallographischen Flächensymmetriebezeichnung. Die Symmetrie des Häufungsfeldes H wird sehr oft außerordentlich charakterisierend sein, da sie der Symmetrie des die Regelung erzeugenden Feldes oder der Teilbewegungen z. B. der Symmetrie der mechanischen Beanspruchung zuordenbar ist. Sehr oft ist H durch zwei Winkel zu charakterisieren, da es einen Streifen um den Rotationspol bildet, etwa gleich dem Streifen den der 70. und 80. Breitengrad auf der Erdkugel umschließen.

Endlich haben wir in unseren Arbeiten den statistischen Grad der Regelung unterschieden und dieser läßt sich nach dem Erörterten definieren durch die Prozentzahl der Gefügekörner, welche überhaupt der bereits im obigen Sinne charakterisierten Regel folgen. Dieser statistische Grad ist besonders wegen der Auslese bedeutsam, welche ein Feld unter den Körnern ungeregelten Gefüges treffen kann.

Aus genau demselben Grunde wie beim Häufungsfelde, nämlich wegen der Beziehbarkeit auf die Symmetrie des Regelung erzeugenden Feldes, ist es noch dringender nötig, die Symmetrie der theoretisch möglichen Regelungsgrade festzustellen. Es ist dies teilweise von seiten der Petrographie (Schmidt, Sander), grundsätzlich aber von seiten Weißenbergs geschehen. Weissenberg hat (Annalen der Phys. 1922, S. 409) die Symmetrieklassen für alle Möglichkeiten statistisch anisotropen Verhaltens in einer homogenen Phase deduziert.

Die Symmetrie unseres ersten theoretischen Regelungsgrades ergibt sich für den Fall, daß H eine Kugelkalotte ist, sehr einfach; wir haben den Zusammenhang zwischen den Lagen von g und denen aller anderen Gittergeraden bereits angeführt: Alle Gittergeraden sind frei in jenen Zonen gleicher nördlicher und südlicher Breite, deren Streifenbreite durch γ gegeben ist.

Ist H also eine Kalotte, so ist die Symmetrie dieses ersten theoretischen Regelungsgrades die eines Rotationsellipsoides (Sander 1923, Ib. B. A.) oder eines Doppelkegels (Doppelkegelklasse oder Klasse 7 bei Weißenberg).

Dieser Typus der Regelung von Gefügen und Gitteraggregaten liegt nahe für alle erzeugenden Felder von ebensolcher Symmetrie, also z. B. Zug oder Druck unter bestimmten Bedingungen; geradlinige Stoffzufuhr (z. B. gerichtete Molekülstrahlen).

Hier mögen die Symmetrietypen inhomogen geregelten Gefüge kurze Erwähnung finden, Fälle, in welchen das Feld H keine Kugelkalotte, also nicht kreisförmig umgrenzt, sondern oblong ist, z. B. elliptisch. Das bedeutet also, daß es im Gefüge eine Ebene gibt, in welcher g weiter aus der Achsenrichtung unserer Lagenkugel herauspendelt als in anderen Ebenen. Diese Ebene E_1 ist in unserem Falle durch den größeren Durchmesser von H und die Kugelachse bestimmt. Senkrecht zu dieser liegt, durch den kleinsten Durchmesser von H und die Kugelachse bestimmt, E_2, die Ebene, in welcher g die geringste Pendelfreiheit hat. Derartige Kristallitanordnungen sind bekannt. Ich habe z. B. zu Falten verbogene Kristallrasen beschrieben, bei welchen E_2 parallel zur Faltenachse liegt, E_1 normal zur Faltenachse. Oder man kann sich an Kristallrasen auf stabförmigen Elektroden erinnern usw.

Wir haben damit einen Symmetrietypus inhomogener geregelter. Gefüge kennengelernt.

Auf derartige Symmetrietypen inhomogener geregelter Gefüge habe ich (Jahrb. B.-A. 1923, 223 ff., 244, 245) als auf zum Interferenzbilde (opitsch einachsiger und optisch zweiachsiger) korrelate Kristalliten- bzw Gitteraggregate hingewiesen.

In diesem Falle ist es also die Symmetrie der Inhomogenität, wonach unterschieden wird. Auch der Fall radialfasriger Kristallitregelung als Wachstumsstruktur ist allbekannt und als Beispiel für eine Symmetrie der Inhomogenität ohne irgendeine ausgezeichnete Richtung anzuführen. Die Übersicht ergibt sich, wenn man jeweils die Symmetrie von H ins Auge faßt und die derselben gemäße Lagenfreiheit aller Gittergeraden. Letztere wird durch gleichförmige Rotation des Gitters um jede Lage von g anschaulich und bringt eine Verteilung der Gittergeraden auf der Lagenkugel mit sich, deren Symmetrie der Symmetrie von H mitentspricht. Weder die Symmetrie eines homogen geregelten Gefüges (abgesehen vom theoretischen Grade minimaler Kornfreiheit = Einkristall) noch die Symmetrie eines inhomogen geregelten Gefüges ist abhängig von der Symmetrie des Kornes, welche unter Umständen „nicht ausgenützt" wird (Weißenberg). Das Feld H und damit die Inhomogenität kann theoretisch eine $n = 0$ bis ∞ zählige Symmetrieachse und 0 bis ∞ viele auf H senkrecht stehende Symmetrieebenen haben; jedoch dürften nur wenige Symmetrietypen der Inhomogenität in anorganischen oder organischen Gefügen realisiert sein.

Von besonderer Häufigkeit ist der Fall, daß nachträgliche Deformation aus homogen geregelten Gefügen und aus „Einkristallen" inhomogen geregelte Gefüge und Gitteraggregate erzeugt. Es ist in diesem Fall das inhomogen geregelte Gefüge bzw. Gitteraggregat in seiner Symmetrie der Symmetrie des Deformationsaktes und des Einkristalls zuordenbar, wobei wir im Deformationsakt sowohl die Symmetrie des Kraftfeldes als die der Teilbewegung unterscheiden.

a) Monosymmetrisches Feld H. Das g der Kristallite pendelt in E_1 nur in einer Richtung (aber z. B. mit zunehmenden Beträgen in dieser Richtung) aus der Ausgangslage. E_1 ist die einzige Symmetrieebene dieses monoklinen Typs der inhomogenen Regelung. Auf E_1 kann eine Digyre normal stehen oder fehlen (z. B. Wirbel, einseitig abklingende Gesteinstranslation, bzw. Parallelzerscherung in geregeltem Gefüge).

Dieser Typus läßt sich z. B. als Ergebnis von Bewegungsbildern mit monokliner Symmetrie erwarten. Das sind die Durchbewegungen mit einer einheitlichen Stromrichtung für das Ganze aber mit wechselnder Reibung. So z. B. die Teilbewegungen eines Gesteinsfließens mit Niveaus verschiedener Geschwindigkeit (Gleitbretter, Falten, Wirbel, abklingende Gesteinstranslation im monomikten Kleingefüge). Schmidt-Leoben hat auf monoklines Gefüge durch Scherung hingewiesen.

Eine größere Rolle spielt dieser Typus mit nur einer Symmetrieebene unter den hier ausscheidenden tektonischen Gefügen der Erdhaut.

b) Disymmetrisches H (z. B. elliptisches H mit zentralem Pol der Ausgangslage). Der Lagenkugel und dem Gefüge kommt die (rhombische) Symmetrie eines dreiachsigen Ellipsoids zu (vgl. Jb. B. A. 1923, S. 204), z. B. die eines Strain- oder eines Stressellipsoids.

Wie später erörtert wird, hat die neuere Metallographie homogene rhombische Gefügesymmetrie durch Walzung nachgewiesen, also den genetisch allerdings mehrdeutigen Symmetrietyp so vieler Gesteine. In homogen geregelten Gefügen dürfte aber jede Walzung, deren Walzungsebene nicht mit einer bestimmten Hauptebene der vorhandenen Regelung (z. B. mit s) zusammenfällt, über monokline Gefüge erst zum rhombischen Endzustand des Gefüges bei vollkommener Walzung führen.

Es ist übrigens für die genetische Deutung der Symmetrie inhomogener Regelungen das Feld H allein nicht zulänglich, da andere sehr wichtige Momente, wie z. B. der Umstand, ob sich die Kornlagen stetig von Nachbar zu Nachbar ändern, mitsprechen, worüber H keine Auskunft gibt.

Als anderes Extrem der homogenen Regelung bleibt deren letzter und genauester theoretischer Grad zu erwähnen, welchem ein Minimum der Freiheit für die Gittergeraden zukommt, nämlich für alle Gittergeraden nur eine dem $\sphericalangle\gamma$ der Charakteristik entsprechende Streuung und angenähert dieselbe Symmetrie wie dem Gefügekristalliten.

Geben wir dieser homogenen Regelung die Charakteristik $\sphericalangle\gamma = 0$, so erhalten wir statt des homogenen Gefüges das homogene Gitter, den idealen Einkristall. Das ist theoretisch der erste Fall, den wir hier unterscheiden. Die Entstehung dieses Falles durch Deformation ungeregelten Gefüges ist meines Wissens derzeit unbekannt. Seine Entstehung durch Wachstum ist bekannt. Es ist dieser Fall ja überall verwirklicht, wo aus irgendeinem Kristallitenaggregat oder aus einem Gitteraggregat ein sogenannter Einkristall (z. B. durch trockene Rekristallisation) entsteht. Der Mechanismus dieser Entstehung geht in jedem Fall auf die richtenden Kräfte eines bereits bestehenden Gitters zurück; ist also in dieser Hinsicht derselbe Mechanismus wie der jeden Kristallwachstums (aus Lösung oder Schmelze).

Wir haben in sich inhomogen geregelte Gitteraggregate als Ergebnisse der Deformation begegnet und ich habe (1923) darauf hingewiesen, daß sie wohl auch unter dem Einfluß der Oberflächenspannung in halbflüssigen Kristallen entstehen, worauf mir z. B. Lehmanns Abbildungen deutlich hinzuweisen scheinen. Vielleicht wird es einmal vorteilhaft sein, die gedehnten „Einkristalle" als an den Biegestellen inhomogen, im Bande homogen geregelte Aggregate aufzufassen. Es liegt hier ferner der Hinblick auf die Möglichkeit nahe, daß manche gewachsene, nicht deformierte Einkristalle die Repräsentanten des homogen oder inhomogen geregelten Gitteraggregats als Wachstumsstruktur sind, d. h. mit Vorteil als solche aufzufassen sind. Es liegt theoretisch nahe, daß unter Umständen der Einbau fremder Gitter in das Wachsende nicht ideal, sondern mit einer je nach den Beobachtungsmitteln latenten Zeichnung im Feinbau des sieghaften Kristalles erfolgt, mit einer Art Reliktstruktur des älteren Gefüges im „Einkristall" — Neubau, den wir unter Umständen dann ein Gitteraggregat nennen werden, sobald wir uns nämlich aus irgendwelchen Gründen überhaupt auf eine so vielfach latente Zeichnung beziehen wollten. Und es ist eine offene Frage, wie weit auch freigewachsene „Einkristalle" einen Feinbau als Gitteraggregat zeigen können und in welchem Zusammenhang mit Wachstumsbedingungen.

Wir fragen also, wie ist die Minimalregelung nach einer Gittergeraden und wie ist die Maximalregelung nach einer Gittergeraden in den einzelnen Kristallsystemen durch Symmetrieeigenschaften gekennzeichnet, wenn wir zunächst homogene Regelung ins Auge fassen. Die Minimalregelung können wir für unsere Anschauung kennzeichnen, indem wir der Rotation des Gitters um g gleichförmige Geschwindigkeit zuteilen. Daß für den Fall homogener Regelung nur eine der Weißenbergschen Klassen für die Gefügesymmetrie resultieren kann, nehmen wir als bewiesen an. Es wird ferner versucht, systematisch auf einige Beziehungen hinzuweisen, wenn wir das Korn nicht durch sein Gitter sondern durch sein optisches Ellipsoid repräsentiert denken, wie es für die Isotropie und Anisotropie des Gefüges in bezug auf die betreffende Ellipsoideigenschaft allein in Frage kommt.

Triklines System.

Die Lagenkugel zeigt folgendes: Wenn nach der Gittergeraden g homogen geregelt wird und mit der Charakteristik $\sphericalangle\gamma$ so ist das Feld H eine Kugelkalotte, deren sämtliche Maße beim Kugelradius $= 1$ durch $\sphericalangle\gamma$ gegeben sind. Auf diesem Felde H und nirgends sonst liegen die Repräsentationspunkte von g. Aber auch die Repräsentationspunkte aller anderen Gittergeraden, welche mit g einen Winkel $\alpha < \gamma$ bilden, liegen teilweise auf H. Im übrigen liegen die Repräsentationspunkte aller Gittergeraden, außer g, lediglich gleichmäßig auf Zonen, bzw. Streifen der Kugel, welche Streifen durch $\sphericalangle\gamma$ ebenso vollkommen charakterisiert wird wie H. Ihr meridionaler Durchmesser ist wie bei H der Winkel γ.

Würden wir aus einem triklinen Gitter eine Kugel schneiden und ihr die gleichmäßige Rotation um g erteilen, so würde das den Fall $\sphericalangle\gamma = 0$ darstellen. Wir könnten die nicht unter einer festzusetzenden Minimaldichte besetzten Gittergeraden durch das Kugelzentrum auf der Peripherie mit einem Farbpunkte bezeichnen. Und wir würden bei Rotation diese Kugel mit gleich intensiv gefärbten Breitenkreisen bedeckt sehen. Auch das Röntgenogramm $\parallel g$ würde bei richtig gewählter Rotationsgeschwindigkeit nicht die trikline Symmetrie, sondern die Rotationsellipsoidsymmetrie (Kl. 7 Weißenberg) eines derart geregelten Gefüges trikliner Kristalliten zeigen. Wir sehen, daß die Gefügesymmetrie in diesem Falle eine ganz andere ist als die des Kristalliten, dem ja höchstens ein Symmetriezentrum zukommt.

Wäre die Regelung in unserem Kristallitenaggregat nicht nach g erfolgt, sondern nach irgendeiner Netzebene, so wählen wir die Normale auf diese Netzebene als Rotationsachse, um die Freiheit des Korns zu veranschaulichen. Es ändert sich an unserer Betrachtung nichts, als daß die Rotationsachse im triklinen System bei Regelung nach einer Netzebene keine kristallographische Achse ist, während dies bereits im monoklinen System der Fall sein kann [bei Regelung nach (010)]. Es kann dies unter Umständen zur Kennzeichnung trikliner geregelter Gefüge beitragen.

Wir betrachten nun das Verhalten des dem triklinen System zugeordneten dreiachsigen Ellipsoids (und zwar der optischen Indikatrix), dessen Achsen nicht mit dichbesetzten Gittergeraden, also vor allem nicht mit den Kristallachsen zusammenfallen. Ehe wir versuchen, uns das Verhalten eines solchen Ellipsoids bei der Rotation zu veranschaulichen, nehmen wir auf diesen letzten Punkt Bezug. Auch genetisch erfolgt die Regelung nach einer Netzebene oder Gittergeraden, in keinem derzeit bekannten Falle aber unmittelbar nach einer Achse oder Hauptebene eines Bezugsellipsoids und vollends nicht des optischen. Es wird also für geregelte Gefüge trikliner Kristallite bis auf weiteres als kennzeichnend gelten können, daß das Ellipsoid schief zur Rotationsachse der Lagenkugel liegt. Wir rotieren also ein dreiachsiges Ellipsoid um eine Achse, welche in keinem Hauptschnitt des Ellipsoids liegt und fragen:

1. nach der Symmetrie des so entstehenden Ellipsoidaggregats;

2. nach der Wirkung der Charakteristik $\sphericalangle\gamma$, (wenn wir der Rotationsachse auch Freiheit im Felde H erteilen):

a) Auf die Symmetrie; *b)* auf das Regelungsphänomen, was das additive und subtraktive Verhalten des Vektors angeht, dessen Ellipsoid wir untersuchen. Für die Frage nach der Symmetrie der anisotropen Ellipsoidschar können wir das Ellipsoid durch seine drei Achsen ersetzen α, β, γ, wobei bekanntlich die α-γ-Ebene die Ebene der optischen Achsen ω_1 und ω_2 ist. Diese ausgezeichneten Richtungen α, β, γ, ω_1, ω_2, schließen mit der Rotationsachse die Winkel φ_α, φ_β, φ_γ, $\varphi_{\omega 1}$, $\varphi_{\omega 2}$ ein. Ihre Repräsentationspunkte auf der Lagenkugel verhalten sich, was die Abhängigkeit von den genannten Winkeln und von der Charakteristik $\sphericalangle\gamma$ anlangt, ganz so wie dies für beliebige Gittergerade soeben erörtert wurde. Auch die optische Achsenebene ist nur durch ihren konstanten oder um $\sphericalangle\gamma$ abweichenden Winkel ω_3 mit der Rotationsachse festgelegt, berührt also bei der Rotation ($\sphericalangle\gamma = 0$) längs seines erzeugenden Strahles einen Doppelkegel mit dem Öffnungswinkel ω_3. Ist die Charakteristik der Regelung $\sphericalangle\gamma$, so treten an Stelle dieser Berührungsgeraden alle Strahlen im Büschel zwischen den beiden um $\sphericalangle\gamma$ im Öffnungswinkel differierenden Doppelkegelmänteln.

Wir sehen, daß die Symmetrie der Ellipsoidschar bei homogener Regelung minimalen Grades nach einer Gittergeraden oder Netzebene die Symmetrie eines Rotationsellipsoides oder Doppelkegels (Weißenbergs Klasse 7) ist.

In bezug auf das optische Regelungsphänomen ist folgendes festzustellen.

Es gibt eine unbegrenzte Zahl von Schnittlagen durch das Gefüge, welche eine die Wahrscheinlichkeit für ungeregeltes Gefüge übersteigende Anzahl von Kornschnitten normal zu einer optischen Achse, also für unsere Beobachtungsmittel isotrope Kornschnitte enthalten. Diese Gefügeschnitte zerfallen in zwei Scharen: eine derselben steht normal auf der einen optischen Achse, die andere Schar normal auf der anderen optischen Achse für alle Lagen der um g rotierenden optischen Achsen. Wenn wir also ein Gefüge nach g homogen geregelter trikliner Kristallite haben, so werden im allgemeinen auf der Lagenkugel zwei Gürtel für im erörterten Sinne überisotrope Gefügeschnitte vorhanden sein.

Diese Schnitte werden Tangentenebenen an die Spur der rotierenden optischen Achsen auf der Lagenkugel sein. Doch gibt es ausgezeichnete Fälle, in welchen die Spur beider optischen Achsen einen einzigen Kreis, bzw. eine einzige Breitenzone (entsprechend $\sphericalangle \gamma$) darstellt, demgemäß auch nur eine einzige solche Zone mit überisotropen Gefügeschnitten (überisotrope Zone) vorhanden ist. Dieser Fall tritt ein, wenn g in einem Hauptschnitt liegt, der nicht die optischen Achsen enthält oder anders gesagt, wenn entweder α oder γ normal auf der Rotationsachse (und Gefügesymmetrieachse) g steht; in beiden Fällen wird zugleich $\sphericalangle \varphi_\beta = \sphericalangle \omega_3$. Auch wenn α oder β oder γ mit g zusammenfällt, erhalten wir nur eine Zone für überisotrope Schnitte. Alle diese Fälle kann man am Rotationsmodell leicht evident machen. Fällt ω_1 oder ω_2 mit g zusammen, so wird H als Tangentenebenen überisotrope Gefügeschnitte haben.

Diese Grundlagen erleichtern die Betrachtung der Kristallitengefüge aus wirteligen Kristalliten und sie bilden eine Grundlage für die optische Gefügeanalyse durch verschieden orientierte Schliffe, bezw. den Drehtisch.

Es kann die Richtung der Symmetrieachse des Gefüges bekannt oder aus dem regelnden Felde oder aus Differentialbewegungen erschließbar sein.

In diesem Falle besteht die Frage, welche Richtung im Gitter diese Symmetrieachse ist oder anders gesagt, nach welcher Gittergeraden geregelt ist.

Man schleift zunächst normal zur Symmetrieachse des Gefüges, z. B. zur Streckungsachse eines Gefüges.

1. Ist dieser Schliff überisotrop, so ist nach einer optischen Achse, bzw. nach einer Gittergeraden, welche in die optische Achse fällt oder nach einer Netzebene normal zu optischen Achse geregelt worden. In der Lagenkugel fällt alsdann eine optische Achse mit g zusammen.

2. Ist dieser Schliff „nichtisotrop“, so legt man dem Meridian entlang verschiedene Schliffe. bzw. optische Ebenen durch Drehung am Drehtisch, welche alle eine Schnittgerade $\perp g$ gemeinsam haben.

a) Man findet entweder nur e i n e Zone sehr stark überisotroper Gefügeschnitte. Es fällt dann auf der Lagenkugel entweder α oder β oder γ mit g zusammen.

α. Fällt β mit g zusammen, ist also entweder nach einer Gittergeraden normal zur optischen Achsenebene geregelt oder nach der optischen Achsenebene, so liegt die einzige Zone überisotroper Schnitte um den Äquator der Lagenkugel, bzw. der überisotrope Gefügeschnitt liegt $||$ der Symmetrieachse des Gefüges.

β. Fällt α oder γ mit g zusammen, so kann bei bekanntem optischem Charakter des Korns entschieden werden, ob α oder γ mit g zusammenfällt. Bedeutet v den Winkel, unter welchem der überisotrope Gefügeschnitt zur Symmetrieachse des Gefüges geneigt ist, so gelten folgende Beziehungen.

Für optisch + Substanzen (γ = spitze Bisektrix):

Wenn $(90 - v) < 45^0$, so fällt γ mit g zusammen; es ist nach γ oder nach einer Ebene $\perp$ γ geregelt.

Wenn $(90 - v) > 45^0$, so fällt α mit g zusammen; es ist nach α oder nach einer Ebene $\perp$ α geregelt.

Für optisch — Substanzen (α = spitze Bisektrix):

Wenn $(90 - v) < 45^0$, so fällt α mit g zusammen; es ist nach α geregelt oder nach einer Ebene $\perp$ α.

Wenn $(90 - v) > 45^0$, so fällt γ mit g zusammen; es ist nach γ geregelt oder nach einer Ebene $\perp$ γ.

Es ist aber auch möglich, daß α oder γ normal auf der Symmetrieachse des Gefüges, bzw. auf g der Lagenkugel steht. Diese Fälle sind von den obigen nur dann zu unterscheiden, wenn der $\sphericalangle v$ mit dem bekannten Achsenwinkel der Substanz nicht übereinstimmt, welche Übereinstimmung höchst unwahrscheinlich wäre.

b) Man findet zwei Zonen überisotroper Gefügeschnitte mit den Winkeln v_1 und v_2 zur Symmetrieachse des Gefüges, bzw. g der Lagenkugel geneigt. Diese Winkel von 90^0 subtrahiert, ergeben die Neigung der zugehörigen Achse zu g, also

$$90^0 - v_1 = \sphericalangle \omega_1 g$$
$$90^0 - v_2 = \sphericalangle \omega_2 g$$

Die Differenz $\sphericalangle \omega_1 g - \sphericalangle \omega_2 g$ ist ein Maß der Asymmetrie in der Stellung der zwei optischen Achsen gegenüber g der Lagenkugel und dient zur weiteren rechnerischen Orientierung der Lage von g im Kristallgitter.

Ist die Richtung der Symmetrieachse des Gefüges ganz unbekannt und nur das System und die optische Orientierung des Kristallits bekannt, so ist zuerst durch drei aufeinander $\perp$ orientierte Gefügeschnitte das Gefüge nach überisotropen Schnitten abzusuchen und die Lage der Symmetrieachse aus diesen erst zu erschließen, indem man die Schnittlagen fortlaufend auf einer Kugel, bzw. deren Projektion verzeichnet, der gegenüber man das Gefüge durch Marken orientiert hat.

Es ist hiefür von der allergrößten praktischen Bedeutung, daß wir ganz neuerdings im Universaldrehtisch (Fedorow-Berek-Leitz) für Schliffe das Mittel besitzen, die meisten der Gefügeschnitte durch Drehung des Schliffes um eine im Schliff liegende Achse zu ersetzen und die optischen Achsen forlaufend stereographisch zu verzeichnen (siehe M. Berek Mikroskopische Mineralbestimmung mit Universaldrehtischmethoden, Berlin, Bornträger, 1924).

Monoklines System.

Wir unterscheiden, ohne die für das trikline System bereits erörterten Grundlagen zu wiederholen, folgende Fälle:

Es wird nach einer Gittergeraden g geregelt.

1. g liegt in (010) } singuläres g
2. g steht $\perp$ (010) } singuläres g
3. g steht schief zu (010); zwei zueinander geneigte gleichwertige g.

Wird nach einer Netzebene geregelt, so liegt diese

$\perp$ auf 010, was mit Fall 1 zusammenfällt
oder $\|$ 010, was mit Fall 2 zusammenfällt

oder sie steht schief zu (010), was mit Fall 3 zusammenfällt.

Es sind dann ebenfalls zwei zueinander geneigte ganz gleichwertige Netzebenen zu beachten.

Alle drei Fälle haben, nach den Festigkeitsdaten monokliner Kristalle zu schließen, Aussicht, in passiv geregelten monoklinen Gefügen gefunden zu werden.

Es sei nach einem g in (010) geregelt oder nach einer Ebene $\perp$ (010).

Die Lagenkugel zeigt Rotationsellipsoidsymmetrie (Weißenbergs Klasse 7).

Unter den Breitenkreisen, bzw. -zonen, sind die von den singulären Gittergeraden stammenden mit nur halb soviel Repräsentationspunkten belegt wie die von den binären Gittergeraden stammenden, eine Verschiedenheit vom gleichen Fall trikliner Kristallite, welche vielleicht einmal mittelbar zur praktischen Unterscheidung verwendbar wird; denn es entsprechen den von binären Gittergeraden besetzten Breitenzonen zuordenbare binäre Netzebenen, was unter geeigneten Bedingungen als röntgenoptischer Effekt nachweisbar werden kann durch das Auftreten von zwei (abzüglich des Intensitätsunterschiedes durch die anderen Bedingungen) verschieden intensiven Ringsystemen in dem unserem Falle entsprechenden Diagramm eines rotierten Einkristalls oder eines nichtrotierten Kristallitengefüges. Analog ließen sich Fall 2 und 3 charakterisieren, was aber wegen des fraglichen praktischen Wertes hier unterbleibt.

Was das optische Verhalten monokliner Kristalliten anlangt, so werden wir erwarten, daß irgendwelche monokline Kristallite nach (010), bzw. b und damit also nach einer der drei Ellipsoidachsen geregelt auftreten können; aber typischerweise eben nur nach einer für den Kristalliten bestimmten. Wir haben also folgende Fälle zu untersuchen, was die Symmetrieeigenschaften der Ellipsoidschar des geregelten Gefüges und was das optische Phänomen in verschiedenen Gefügeschnitten angeht.

Das Gefüge ist geregelt

1. nach einer der Ellipsoidachsen $\alpha\,\beta\,\gamma$, bzw. nach dem auf $\alpha\,\beta\,\gamma$ senkrecht stehenden Ellipsoidhauptschnitt,

2. nach irgendeiner in einem Hauptschnitt liegenden Gittergeraden. Diese Gittergerade heiße, je nachdem der Hauptschnitt, in dem sie liegt, auf α, β oder γ senkrecht steht $g_\alpha\ g_\beta\ g_\gamma$; g_β liegt also in der optischen Achsenebene und die beiden optischen Achsen, deren Auftreten

als Gerade, nach denen geregelt wird, nicht besonders wahrscheinlich ist, sind Spezialfälle von g_β;

3. nach irgendeiner schief zu allen drei Ellipsoidhauptschnitten gestellten Geraden, bzw. Netzebene.

Bei unserer Betrachtung setzen wir voraus, daß die „optische Orientierung" der Kristalliten bekannt sei. Und es ist jedesmal der betreffende Fall für beide Haupttypen der optischen Orientierung monokliner Kristalle zu unterscheiden, nämlich, daß die optische Achsenebene in (010) liegt (Typus geneigter Dispersion) und daß die optische Achsenebene auf (010) normal steht (Typus horizontaler Dispersion).

Wir erhalten so eine Reihe von Fällen von anisotropen Ellipsoidscharen, deren voneinander optisch nicht unterscheidbare wir schließlich zusammenfassen, bevor wir wieder an die Frage gehen, was das optische Regelungsphänomen in Gefügeschnitten mit dem Universaldrehtisch untersucht, besagen kann.

ad 1. Wie wir schon für trikline Kristalliten erwähnten, ergibt sich bei Regelung nach α, β oder γ nur je eine Breitenzone unter dem Winkel v gegen g (α, β, γ) geneigter überisotroper Gefügeschnitte, wobei der $\sphericalangle v = 180^0$ ist oder leicht aus dem Achsenwinkel der Substanz ableitbar.

Unter den Regelungen nach b bzw. (010) hebt sich der Fall geneigter Dispersion $\beta = \mathrm{b} = g$ durch seine äquatoriale Breitenzone überisotroper Gefügeschnitte heraus.

ad 2. Es wurde bereits für trikline Kristallite erwähnt, wie sich eine Regelung nach einer optischen Achse kundgibt. Für alle übrigen g_β (Geraden in der optischen Achsenebene) außer α, γ und den beiden optischen Achsen treten zwei Breitenzonen überisotroper Gefügeschnitte auf. Für alle g_α und g_γ dagegen tritt nur eine Breitenzone überisotroper Gefügeschnitte auf.

ad 3. Auch für diesen Fall gelten die bereits für trikline Kristallite beschriebenen Verhältnisse.

Es ist ja überhaupt klar, daß alle Betrachtungen, welche sich auf die verschiedenen Typen anisotrop geregelter Scharen dreiaxiger Ellipsoide beziehen, für trikline, monokline und rhombische Kristallite gelten. So in unserem Falle die Rotationsellipsoidsymmetrie der Ellipsoidschar (wenn nach einer Geraden oder der darauf senkrechten Ebene also mit maximaler theoretischer Freiheit geregelt wird); ferner das Auftreten von ein oder zwei Breitenzonen überisotroper Gefügeschnitte und die Winkelbeziehungen dieser Gefügeschnitte sowie der Vorgang bei der praktischen optischen Gefügeanalyse, für welche als älteste Methoden meine Methode des gemeinsamen Farbensteigens und -fallens, sodann Schmidts statistische Methoden und nun die hier erörterte Methode der überisotropen Gefügeschnitte mit dem Drehtisch mit direkter Bestimmung der Pollagen mit demselben, wie sie Schmidt nach brieflicher Mitteilung übt, in Frage kommen.

Erst wenn wir dazu übergehen, an Stelle des Ellipsoids wieder das Korn, bzw. Gitter zu setzen und nach der Symmetrie dieses letzteren die wahrscheinlichsten Regelungen zu beachten, ergeben sich die zu erwartenden Unterschiede im optischen Regelungsphänomen trikliner, monokliner und rhombischer Kristallite.

Im triklinen System ist der wahrscheinliche Fall, daß die Gerade, bzw. Ebene, nach welcher geregelt wird, keine Hauptrichtung des Ellipsoids ist, daß demnach alle Phänomene auftreten, welche wir für eine Regelung nach einer zum Ellipsoid schiefen Geraden erörtert haben. Insbesondere sind also bei triklinen Kristalliten zwei Breitenzonen überisotroper Schnitte wahrscheinlich (zweifach überisotrope Gefüge).

Bei den Monoklinen ist es anders. Es ist eine Regelung nach (010) bzw. *b* bereits im Bereiche der Wahrscheinlichkeit. Das führt im Gefüge zu einfacher Überisotropie, und zwar für geneigt Disperse zu äquatorialer einfacher Überisotropie.

Auch daß nach einer Geraden in (010) geregelt wird, ist nicht fernliegend. Diese Gerade liegt dann in einem Hauptschnitt des Ellipsoids. Bei geneigt Dispersen ist dieser Hauptschnitt die optische Achsenebene und das nach einer Geraden in (010) geregelte Gefüge zweifach isotrop. Bei horizontal Dispersen ist dieser Hauptschnitt $\perp$ auf der optischen Achsenebene und das nach einer Geraden in (010) geregelte Gefüge ist einfach überisotrop. Es sind also bei monoklinen Kristalliten außer den zweifach überisotropen Gefügen zu erwarten: für horizontal Disperse: einfache Überisotropie des Gefüges entweder durch eine Regelung nach (010) (bzw. *b*) oder nach einer Geraden in (010) (anders gesagt durch eine Regelung nach einer singulären Gittergeraden). Für geneigt Disperse: einfache Überisotropie, und zwar äquatoriale bei Regelung nach (010) (bzw. *b*).

Es fügt sich am besten gleich die optische Kennzeichnung geregelter rhombischer Kristallite hier an, für welche als Grundlage ebenfalls noch das Verhalten des dreiachsigen Ellipsoids gilt. Es werden hier die Fälle in den Vordergrund treten, in welchen nach α, β, γ, bzw. nach den darauf senkrechten Hauptschnitten geregelt wird, ferner nach g_α, g_β, g_γ, bzw. nach den zugehörigen Flächen aus den kristallographischen Zonen der Kristallachsen.

Die Regelungen nach α, β, γ zeigen einfache Überisotropie, die Regelung nach β äquatoriale einfache Überisotropie.

Die Regelung nach einer in einem Hauptschnitt liegenden Geraden (g_α, g_β, g_γ) führt zu einfacher Überisotropie des Gefüges im Falle g_α und g_γ, zu zweifacher Überisotropie aber im Falle g_β, wenn also die Gerade, nach der geregelt wird, in der Achsenebene liegt.

Wir erhalten also zweifache Überisotropie bei Rhombischen seltener als bei Triklinen und Monoklinen, nämlich überhaupt nur dann, wenn die Gerade, nach der geregelt wird, in der optischen Achsenebene liegt, was ja der Fall sein kann, oder wenn diese Gerade schief zum Achsenkreuz steht, was seltener zu erwarten ist als bei triklinen und monokline Kristalliten (wegen des Taylorschen Deformationsmechanismus).

Was nun die Anisotropie des Kristallitenaggregats (oder des Gitteraggregats) in bezug auf die Gitter für rhombische Kristalliten und alle höher symmetrischen angeht, so erhalten wir auf Grund der bereits gegebenen Kennzeichnung und des früher Erörterten zunächst Rotationsellipsoidsymmetrie der Anisotropie (Weißenbergs Klasse 7), wenn wir theoretisch minimal regeln, und Unterscheidungsmöglichkeiten, auf welche einzugehen hier der Raum fehlt.

Was die Ellipsoidscharen der Wirtelkristalle anlangt, so handelt es sich bekanntlich um Rotationsellipsoide, deren Hauptachse immer mit c zusammenfällt.

Wir betrachten die Ellipsoidschar, bzw. ihre Anisotropie, wenn nach der Hauptachse, bzw. nach der Ebene $\perp$ darauf geregelt wird, wenn nach einer Geraden in dieser Ebene, bzw. nach einer Ebene, in der die Hauptachse liegt, geregelt wird und endlich wenn nach einer anderen Geraden, bzw. nach der zu ihr senkrechten Ebene geregelt wird. Wegen der kristallographischen Festlegung des Ellipsoids entspricht der erste Fall ohne weiteres einer Regelung nach c, bzw. (001); der zweite nach einer Geraden in (001), bzw. nach $(h\,k\,0)$; der dritte nach einer beliebigen Geraden, bzw. nach $(h\,k\,l)$.

Wird nach c bezw. nach e des optischen Ellipsoids geregelt (etwa indem wir einen Einkristall mit zur Basis spitzwinklig geneigten Gleitebenen walzen), so erhalten wir eine vom Grenzwinkel abhängige Charakteristik $\sphericalangle\,\gamma$, von welcher das Feld H abhängt. Ist $\gamma < 90°$, so erscheinen die betreffenden Körner in jedem Gefügeschnitt parallel zu g, $\perp$ (001) der Lagenkugel gemeinsam additiv oder subtraktiv gegenüber einem Hilfspräparat (Bereks Kompensator). Der Gefügeschnitt normal zu g der Lagenkugel ist überisotrop. Es sei nun ein Gefügeschnitt unter $\sphericalangle\,v$ zu g geneigt. $\gamma < 90°$. Schneiden wir das Gefüge $\parallel g$, so haben wir ($v = 0°$) einen unterisotropen Schnitt mit gemeinsam additiven Körnern. Neigen wir nun unseren Gefügeschnitt gegen g, so bleibt seine Unterisotropie bis zur Schnittlage $v = 90 - \frac{\gamma}{2}$ erhalten, von wo an sie in Überisotropie umschlägt. Das Phänomen gleichsinniger gemeinsamer Addition bleibt von $v = 0°$ bis $v = 90°$ erhalten.

Wird nach einer Geraden $g \perp c$ geregelt (also z. B. im Zinkdehnungsmechanismus), so erhalten wir ein Maximum der Unterisotropie in Gefügeschnitten $\perp g$ und ein Maximum der Überisotropie in allen Gefügeschnitten $\parallel g$, bezw. in einer äquatorialen Zone der Lagenkugel, deren Streifenbreite in Bogengraden $= \sphericalangle\,\gamma$ ist. In Gefügeschnitten außerhalb dieser Breiten fehlen isotrope Körnerschnitte ($\perp$ zu c).

Was das gemeinsame Additionsphänomen der Körner angeht, so zeigen Gefügeschnitte tangential an die äquatoriale Breitenzone nur isotrope Körner und gemeinsam-additive. Die Tangentialschnitte an H zeigen keine isotropen Körner und kein gemeinsames additives Verhalten ihrer Körner. Die schiefen Gefügeschnitte außerhalb der äquatorialen Zone zeigen keine isotropen Körner und eine gegen den Pol hin steigende Verwischung des gemeinsamen additiven Verhaltens, abhängig von der Exzentrizität des Ellipsoids und vom Winkel zwischen Gefügeschnitt und g.

Wir haben noch den Fall zu betrachten, daß nach einer Geraden schief zu c geregelt wird. Schließt g mit c den Winkel α ein, so verläuft auf der Lagenkugel die Häufungszone für c in der geographischen

Breite α mit einer Streifenbreite von γ Bogengraden und jede Tangentialebene ist ein überisotroper Gefügeschnitt.

Zur eingehenden Kennzeichnung des Verhaltens der überisotropen Gefügeschnitte und beliebiger schiefer Gefügeschnitte Einachsiger und Zweiachsiger ist die bei späterer Gelegenheit zu bringende geometrische Untersuchung[1]) der Schnittellipsendurchmesser eines rotierenden Ellipsoids nötig.

Durch eine solche Untersuchung soll festgestellt werden, welche Schnitte des rotierenden Korns ein additives Phänomen, z. B. gemeinsames Farbensteigen mit einem Hilfspräparat ergeben können, bzw. welche Körner eines nach g geregelten Gefüges (nicht eines beliebig geregelten oder ungeregelten Gefüges) dieses Phänomen ergeben.

Diese letztere Frage, welche Körner in einem ganz ungeregelten Gefüge mit Vertretung aller möglichen Kornlagen das Phänomen ergeben, bzw. welche Lagen eines nur im Mittelpunkt festgehaltenen Korns, diese Frage wurde bereits (Jb. G. B. A. 1923) mit der Lösung veröffentlicht. Es wurde hiebei gefragt, welche Kornlagen denn überhaupt mit dem Phänomen in einem bestimmten Gefügeschnitt vereinbar seien. Und es wurde auf einer Lagenkugel der von Kegelschnitten umschlossene Bezirk abgegrenzt, in welchem sich die längste Ellipsoidachse bzw. die Achse eines Rotationsellipsoids ergehen kann, ohne daß das gemeinsame Farbensteigen gemeinsam mit einem Kornschnitt parallel zur kürzesten Ellipsoidachse unterbleibt.

Die Gesamtheit aller Kornlagen, welche das Phänomen zeigen, geht aus der Ausgangslage durch zweierlei Bewegungen hervor, durch das Pendeln der Achsen, welches durch die erwähnten Felder auf der Lagenkugel beschränkt ist, und durch Rotation um die jeweilige Achsenlage. Diese Rotation ist ebenfalls beschränkt dadurch, daß die Achsen nicht (durch Drehung um eine andere Achse) aus ihren Bezirken herausgedreht werden dürfen.

Wir können die Perntsche geometrische Untersuchung (1923) bereits als teilweise Lösung unserer obenangestellten Hauptfrage betrachten.

Die Lagenkugel Pernts verzeichnet eben im Dienste einer anderen Fragestellung, bereits alle Lagen des Ellipsoids bezw. seiner Achsen, welche möglich sind, wenn in einem bestimmten Gefügeschnitt das gemeinsame Farbensteigen auftreten soll. Damit ist ganz zugleich gezeigt, für welche Körner im betreffenden Gefügeschnitt das Additionsphänomen auftritt oder, was dasselbe ist, welche Bewegungen Rotationen und Pendelungen ein dreiachsiges (und ein Rotations-) Ellipsoid ausführen kann, bei erhaltenem Additionsphänomen im bestimmten Gefügeschnitt. Wir entnehmen (siehe Jb. A. 1923, S. 235) der Perntschen Lagenkugel folgendes:

Man kann eine Achse der Ellipsoids (in dem Falle Pernts die Kürzeste a_3) als Rotationsachse g betrachten und unseren Schnitt als einen der zu g parallelen Schnitte.

Wir können dann sowohl um g rotieren, als auch Nutationen ausführen in einem auf der Lagenkugel umgrenzten Felde H. Dieses Feld

[1]) Sie wurde seither von Herrn Dr. Ing. Pernt bereits durchgeführt.

H_3 ist für das dreiachsige Ellipsoid (also für optisch zweiachsige Kristallite) ein in der Richtung senkrecht auf unseren Gefügeschnitt oblonger Kegelschnitt auf der Lagenkugel (siehe l. c. Figuren). Für das Rotationsellipsoid ist dieses Feld H_1 ein in derselben Richtung oblonges Feld, welches von zwei auf dem Gefügeschnitt und aufeinander senkrechten größten Kugelkreisen aus der Kugel geschnitten wird. Zwischen einem Grenzfall von H_3 einerseits und H_1 andererseits, liegen alle H-Felder für die optisch Zweiachsigen abhängig vom Verhältnis $a_1 : a_2 : a_3$.

Wir sehen also, daß die Bedingung, daß in einem ganz bestimmten einzelnen Gefügeschnitt gemeinsames Farbensteigen auftritt, dem Korn eine Lagenfreiheit läßt, welche einem ganz bestimmten Typus inhomogener Gefügeregelung entspricht. Dieser ist durch die Form der Felder $H_3 \ldots\ldots H_1$ charakterisierbar für die betreffenden Kristallite.

In unserem Zusammenhang interessiert aber die homogene Regelung bei Rotation um a_3 und Nutation in einer kreisförmig umgrenzten Kugelkalotte H. Um hierin weiterzukommen, fragen wir: Welche Freiheit verbleibt dem Korne, bzw. dem Ellipsoid, wenn in allen zu g parallelen Gefügeschnitten unser Phänomen immer bezogen auf ein $\perp g$ schwingendes Hilfspräparat auftreten soll. Wir erhalten die Antwort, wenn wir die Perntsche Lagenkugel um g rotieren.

Es ergibt sich dann das Feld, welches $g = a_3$ in seinen Nutationen nicht verlassen darf, als eine kreisförmig umgrenzte Kugelkallotte H mit der Charakteristik $\sphericalangle \gamma = 90°$. Dasselbe gilt für optische Einachsige. Also: Für eine homogene Regelung geringsten Grades nach g, wobei g entweder die längste a_1 oder die kürzeste a_3 Ellipsoidachse (also eine Bisektrix) ist, nicht aber die mittlere a_2 (=Index β, oder optische Normale), tritt in allen Gefügeschnitten parallel zur Ausgangslage von g im Zentrum von H an allen Kornlagen das Additionsphänomen (mit einem in der Ausgangslage schwingenden Hilfspräparat) ein, für welche eben die Nutation von g das durch $\sphericalangle \gamma = 90°$ charakterisierte Feld H nicht überschreitet.

Es tritt also z. B. dieses Phänomen bereits auf, wenn die Regelung nach einer Streckungs- oder Zugachse mit einen Grenzwinkel $\alpha < 45°$ erfolgt, allerdings nur wenn nach den vorerwähnten Bedingungen geregelt wird.

Meines Erachtens besteht Aussicht, daß durch die hier theoretisch erörterte, durch den neuen Fedorow von Leitz praktisch erleichterte Kornlagenbestimmung mit Hilfe der überisotropen Gefügeschnitte, die besser für eine rasche Vororientierung brauchbare Methode der gemeinsam steigenden Farben, bzw. gemeinsamer Kompensation mit dem Berek ersetzt wird, weshalb es vorderhand mit dem Erörterten genug sein mag.

Auch an die von Seiten der Metallographie beststudierten kubischen Kristallite kann nur kurz hinweisend einiges für Gesteinsbildner in Frage kommende angeschlossen werden. Vor allem kommt bei allen nicht kubischen Kistalliten mit Ausnahme der triklinen jener Deformationsmechanismus mit „wechselnder“ Einstellung einer Halbierungsgeraden zwischen gleichwertigen Gleitflächen bzw. -richtungen in Betracht, welchen Taylor und Elam vom kubischen Aluminium zuerst beschrieben und Polanyi-Masing (l. c.) erörtert haben; worauf hier der Hinweis genügen muß.

Außer diesem folgerichtigerweise an kubischen Material (mit seiner vielfachen Wiederkehr gleichwertiger Gleitflächen und -richtungen) zunächst nachgewiesenen Prinzip, haben ebenfalls allgemeine Bedeutung die Erfahrungssätze Polanyis (l. c.) für Gefüge kubischer Kristallite.

1. Eine Symmetrieachse stellt sich um so eher in die Zugrichtung ein, je spitzer ihr Winkel mit der Gleitrichtung ist.

2. Beim Walzen liegen in der Walzrichtung jene Geraden, welche den spitzesten Winkel zwischen 2 Gleitrichtungen halbieren.

3. In die Walzebene stellen sich Symmetrieebenen, welche den spitzen Winkel von Gleitrichtungen halbieren.

Polanyi hat versucht, diese Verhältnisse daraus zu verstehen, daß er die Walzung aus Dehnung in der Walzrichtung und „Ausbreitung" des Kristalls in der Walzebene nach links und rechts zusammensetzte.

Ich habe an vielen Einzelfällen beschrieben und allgemein festgestellt, daß bei der Walzung der Gesteine quer zum überschiebenden, faltenden und überwalzenden Druck, also quer zur Walzrichtung der Metallographen Streckung auftritt in allen Graden. Diese Streckung läßt sich als Druckminimum oder als Zug auffassen, wie z. B. die hiezu korrelaten Zugrisse zeigen. Ich habe auch dieser Auffassung entsprechend geregelte Quarzgefüge beschrieben und anläßlich der Tagung 1924 darauf hingewiesen, daß sich auch die Walzstruktur der Metallographen aus Druck $\perp$ zur Walzfläche (mit Scherungen) und aus Zug quer zur Walzrichtung verstehen läßt.

In der Tat liegt bei raumzentrierten kubischen Metallen:

die Würfelflächendiagonale $\parallel$ zum Zug und quer zur Walzrichtung.

Bei flächenzentrierten kubischen Metallen liegt:

die Würfeldiagonale oder die Würfelseite $\parallel$ zum Zug und quer zur Walzrichtung.

Es entspricht also die Richtung quer zur Walzrichtung sehr vollkommen der von uns so oft betonten Streckung (Dehnung) quer zur Walzrichtung.

Bei raumzentrierten Kubischen läßt sich die in der Walzrichtung auftretende Würfelflächendiagonale als Einstellung auf Druck $\perp$ zur Walzebene verstehen.

Ebenso läßt sich die Einstellung der Würfelseite in die Walzrichtung bei raumzentriert Kubischen verstehen; während die Einstellung von [112] in die Walzrichtung verständlich ist, wenn wir den Würfel mit seiner Würfeldiagonale quer zur Walzrichtung stellen, und dann die einzige gegenüber dem Drucke normal zur Walzfläche symmetrische Rotationsstellung einnehmen lassen, welche eben die mit [112] in der Walzrichtung ist.

Anisotropie der Intergranularen.

Die Betrachtung der Anisotropie der Intergranularennetze, welche noch ganz unbearbeitet ist, wird einerseits deskriptiv typisierend vorgehen müssen (wie etwa Hirschwald zur Beurteilung der Verwitterungsfestigkeit), anderseits von vornherein starke Vereinfachungen im Hinblick auf die Frage der Anisotropie vorzunehmen haben.

So können wir die Intergranulare lediglich als Grenzfläche zwischen gleichartigen oder ungleichartigen Körnern betrachten und mit dem letzteren Fall auch den Fall betrachten, daß die Füllung eines Porenvolumens, sei sie auch flüssig oder gasig, als Korn des demnach jedenfalls polymikten Gesteins betrachtet wird. Es wird dann bei polymikten Gesteinen (in diesem weiten Sinne) die Intergranulare auch als Grenzfläche an verschiedenen Stellen „ungleichartig" sein, im Ganzen höchstens so vieler Art, als die Berührungsmöglichkeiten der verschiedenen Kornarten sind. Doch wird diese Ungleichartigkeit der Intergranulare an und für sich ebensowenig die statistische Isotropie aufheben müssen, als es die Ungleichartigkeit der Körner muß. Ferner wird eine Anisotropie durch Ungleichartigkeit der Intergranulare immer schon durch eine Anisotropie in der Anordnung der verschiedenen Körner gegeben und daher hier nicht eigens zu behandeln sein. Man kann sich also darauf beschränken, lediglich zu beachten, inwiefern die Gestalt des Intergranularnetzes zunächst in einem monomikten Gefüge Anisotropie bedingen kann und auch die Unterscheidungen homogen und inhomogen (im interessierenden Bezirk) nur auf die Gestalt des Intergranularnetzes beziehen. Beschränkt man sich ferner auf homogene Intergranularnetze im strengen Sinne, also auf im betrachteten Bezirke gleichmaschige, so wird die Anisotropie des Intergranularnetzes für die Ausbreitung irgend eines Vorganges im Gefüge in ihrer Symmetrie, der Symmetrie der Elementarmasche entsprechen, gleichviel, ob der Vorgang an der Intergranulare nur eine Geschwindigkeitsänderung oder eine Ablenkung erfährt.

Es werden sich in ihrer Symmetrie viele Maschen annähernd als Elementarparallelogramme und damit ihre Netze als Gitter betrachten lassen; auch die Symmetrie der verschiedenen nadeligen, blättrigen oder nach ein oder mehreren Dimensionen unendlich gestreckten Intergranularmaschen und -netze (z. B. in manchen Schiefern!) wird leicht zu kennzeichnen sein. Hängt die Ausbreitung des Vorganges lediglich von der Zahl der pro Wegeinheit passierten hemmenden Intergranularen ab, so liegen die Ankunftsorte des Vorganges nach der Zeit t auf einer Fläche von der Symmetrie und Orientierung der Elementarmasche. Mehr als dieses Allgemeinste läßt sich darüber hier nicht sagen, da von Herrn Dr. Schatz darauf gerichtete Studien vorläufig unterbrochen wurden.

Vorkristalline Deformation, trockene Rekristallisation, Warmreckung.

Vielleicht noch wesentlichere Anregungen als das Studium der nachkristallinen Deformation wird das Studium der vorkristallinen Deformation von seiten der Metallographie zu erwarten haben. Die

„Rekristallisation“, welche in der folgenden Erörterung einiger Grundlagen im Vordergrunde steht, ist die trockene, ohne Lösungsumsatz erfolgende Rekristallisation, deren Kennzeichen die Metallographie lehrt und deren mögliche Rolle in Gesteinen zuerst energisch betont zu haben Schmidt das Verdienst hat. Ich möchte dieses Verdienst nicht schmälern, wenn ich, wie schon (Jb. BA.) 1923 noch immer auf die Fraglichkeit dieser Rolle und hiemit auf einige Wege, sich da erst zu vergewissern, hinweise. Auch für dieses Gebiet soll eine Erörterung der Begriffe und Fragestellungen, deren Anwendung auf konkrete Beispiele vorausgehen.

Die Rekristallisationsgesetze nach Czochralski (ausgezeichnete Diagramme l. c.) werden kurz erwähnt und hinsichtlich der bei Gesteinen möglichen Komplikationen umrißweise erörtert. Unter Rekristallisation schlechthin ist im folgenden die ohne Lösungsumsatz verstanden, welche ich als trockene Rekristallisation neben der feuchten zu unterscheiden, vorschlage.

1. Bei einem Metall beginnt die Rekristallisation schon bei um so tieferer Temperatur, je höher der Grad der Kaltknetung war.

2. Die Zeit, in welcher die Rekristallisation einen Abschluß erreicht, sozusagen für die betreffende Temperatur vollendet ist, nimmt mit dem Kaltknetungsgrad ab.

3. Das rekristallisierte Korn wird um so kleiner, je stärker die Kaltknetung war und um so gröber, je geringer die Kaltknetung war.

4. Auch mit steigender Rekristallisationstemperatur wächst die Korngröße des rekristallisierten Gefüges.

Der 3. und 4. Satz zusammen sind im Rekristallisationsschema von Czochralski ausgedrückt (siehe Czochralski, Moderne Metallographie oder ein modernes Petrographielehrbuch: Niggli, Erdmannsdörfer).

5. Unterhalb der unteren Rekristallisationstemperatur, die je nach dem Grade der vorangegangenen Kaltreckung verschieden hoch liegen kann, ist es nicht möglich, durch verschieden starke Kaltknetung die Korngröße zu beeinflussen.

6. Über der unteren Rekristallisationstemperatur dagegen nimmt das Korn mehr oder weniger rasch die, wie man sieht, der Kaltreckung und Temperatur zugeordnete Größe an.

Die Korngröße eines trocken-rekristallisierten Gefüges ist also abhängig vom Kaltknetungsgrad und von der Temperatur. Aus einer bestimmten Korngröße ist also weder die Bildungstemperatur noch die vorangegangene Durchbewegung eindeutig abzulesen. Das erinnert an die Mehrdeutigkeit der Korngröße erstarrter Schmelzen. Sehen wir aber in einem natürlichen Deformationspräparat eines vorkristallin deformierten Gesteins, für das wir gleiche Temperatur annehmen können, Korngrößenunterschiede, so können wir sie auf verschiedenen Kaltreckungsgrad zurückzuführen versuchen. Und wir haben, wenn diese Zurückführung dem für das Stück anzunehmende Beanspruchungsplan entspricht, ein Argument für das Walten von trockener Rekristallisation (echter Metallrekristallisation) im Gestein.

7. Ist die Korngröße für ein bestimmtes Wertepaar (Kaltknetung und Temperatur) erreicht, so ändert fortdauerndes Erwärmen bei dieser Temperatur nichts mehr an der Korngröße.

8. Sind sämtliche innere Spannungen des deformierten Metallstücks ausgeglichen, so erfolgt keine weitere Umkristallisation und keine Korngrößenänderung mehr.

Bei Deformationen unterhalb der Elastizitätsgrenze tritt keine Rekristallisation auf.

Mir scheint es allerdings noch fraglich, ob sich nicht an elastisch deformierten Einkristallen bereits Rekristallisation wird nachweisen lassen.

Von der größten Wichtigkeit für Gesteinsgefüge, namentlich für polymikte Gesteinsgefüge ist der

10. Satz von Czochralski und Masing: Geringe Beimengungen oder die Gegenwart eines zweiten Gefügebestandteils können nicht den grundsätzlichen Verlauf der Korngrößenkurven, wohl aber die Zahlenwerte beeinflussen.

Dieser Satz erlaubt also, das Grundsätzliche auch auf polymikte Gesteine zu übertragen.

Mit den petrographischen Erfahrungen an rekristallisierten Quarzgefügen (von denen ich annehme, daß die passive Regelung durch Kaltreckung bei Rekristallisation sowohl abgebildet als auch zerstört werden kann) gut vereinbar ist die Feststellung Glockers (Zeitschr. f. Physik 1925, S. 386), daß bei Rekristallisation von Metallen beides eintritt, wobei sogar eine neue Übergangsregel des Gefüges auftritt, für welche mir bei Mineralen noch kein Analogon bekannt ist.

Wir bekommen durch Masing l. c. eine andere Vorstellung von den Keimen der Rekristallisation, als wir sie von den Keimen oder Kernen in einer unterkühlten Schmelze oder in metastabilen Kristallen haben. Vor allem sind die Rekristallisationskerne dieser Theorie schon vor der Rekristallisation vollzählig vorhanden. Ferner aber berühren Masings theoretische Einwände dagegen, spontane Erstarrungskerne und Rekristallisationskerne gleichzustellen, auch von ferne das Problem der mechanisch-chemischen Deformation und ich führe sie deshalb ganz kurz an.

Die Kerne der unterkühlten Schmelzen und metastabilen Kristalle sind begleitet von einem großen Stabilitätssprung zwischen der stabilen und metastabilen Phase. Einen vergleichbaren Stabilitätssprung, welcher gestatten würde, den kaltgereckten Kristall als eigene thermodynamische Phase zu betrachten, hat man nicht gefunden, trotz hierauf gerichteter Bemühungen.

Es ist auch Vogel (Natw. 13. Juli 1924, T. 479) der Ansicht, daß man von einer spontanen Neubildung von Kristallen bei der Rekristallisation nicht sprechen kann".

Andererseits ist es aber sicher und von Masing selbst erwähnt, daß außer der Reckung eine unterhalb des Schmelzpunktes bewirkte Phasenänderung zur Rekristallisation führen kann, z. B. eine allotrope Umwandlung, eine Reduktion im festen Zustand, eine elektrolytische

Abscheidung. Sprechen wir in solchen Fällen schlechthin von Rekristallisation (wie Masing) oder die amerikanischen Petrographen, was wir vielleicht bis zur Klärung der Frage lieber nicht sollten, so ist damit schon darauf hingewiesen, daß sowohl eine Phasenänderung, als die Reckung Rekristallisation erzeugen kann. Ich habe in petrographischen Arbeiten auf Fälle hingewiesen, in welchen teilweise gereckte Kristalle (Feldspate) einen lehrreichen Vergleich des deformierten und des undeformierten Teiles erlauben. In beiden Teilen ist eine stabile Phase (oder mehrere stabile Phasen) mehr oder weniger reichlich an Stelle des unstabilen Kristalls getreten; im deformierten Teile aber weit reichlicher und geregelt.

Es ist zweifellos, daß im deformierten Teile des Kristalls die Kaltdeformation die Rekristallisation (als Glimmer) quantitativ gefördert hat, bisweilen überhaupt erst ausgelöst. Andererseits führt die Unstabilität der Phase (Feldspat) ebenfalls zu ganz derselben nur geringeren Rekristallisation (als Glimmer), so daß man sagen kann, es habe auch die Phasenänderung an und für sich ihrerseits den Effekt der Rekristallisation nach Reckung gesteigert. Und ich glaube, daß man in solchen Fällen vorläufig nur diese erörterte und keine weitere Unterscheidung der Rekristallisation nach Phasenänderueg und der Rekristallisation nach Reckung vollziehen kann und daß man von diesem Punkte aus weiter in die Angelegenheit wir eingehen müssen.

Ich komme zurück auf die Sätze, welche den Zusammenhang zwischen Korngröße, Temperatur und Kaltknetungsgrad für Metalle festlegen. Es ist wahrscheinlich, daß die Übertragung dieser Sätze, also des Czochralskischen Rekristallisationsschemas auf manche Gesteinsgruppen gelingt. Für solche Gesteinsgruppen, welche unter den weiteren Begriff der vorkristallin deformierten Tektonite fallen, ist ein bestimmter engerer Name nötig, wenn sie nachgewiesen sein werden, etwa eben trocken rekristallisierte Gesteine (bzw. Tektonite).

Der Nachweis trocken rekristallisierter Gesteine hat aber noch eine Reihe weiterer Gesetzmäßigkeiten in Betracht zu ziehen, welche durch die experimentelle Metallographie nachgewiesen sind.

Da kommt zunächst in Frage der Zusammenhang zwischen Rekristallisationsgeschwindigkeit, Temperatur und Kaltknetungsgrad.

Es ist vom Standpunkt der Raumgitterlehre der Kristalle aus zu erwarten und geht aus dem Diagramm Czochralskis hervor, daß die Rekristallisationsgeschwindigkeit nahe am Schmelzpunkt am größten ist. Aber man sieht auch, daß sie sehr stark vom Kaltknetungsgrad abhängt: Sie ist bei Kaltknetung = 0 ebenfalls 0; d. h.: ohne Kaltknetung keine Rekristallisation. Wir erinnern uns an die außerordentliche Bedeutung der Durchbewegung für die Umkristallisation der Gesteine. Ich habe das als kristalline Mobilisation durch Umrührwirkung bezeichnet und halte es für möglich, daß ein Teil der Umrührwirkung der Wirkung der Metallkaltknetung entspricht (dieser Teil allein würde z. B. in monomikten Gesteinen zu Worte kommen). Ein Teil aber wirkt sicher als Umrührung von Teilen, welche miteinander in Berührung und zur chemischen Reaktion gebracht werden (vergl. Jb. 1923).

Aber wir sehen auch, daß die Rekristallisationsgeschwindigkeit unterhalb einer bestimmten Grenztemperatur unendlich klein wird. Und da müssen wir es dann vom Standpunkt der petrographischen Geologie aus diskutieren, ob nicht die im Vergleich zum Experiment unendlich großen geologischen Zeiträume für eine Rekristallisation bei allen Temperaturen hinreichen. Das scheint nun nicht der Fall, denn wir kennen nichtrekristallisierte Mylonite der geologischen Vergangenheit. Es ist also insoferne anzunehmen, daß das Rekristallisationsdiagramm auch in der Gesteinswelt zu Worte kommen kann, ohne daß die lange Zeit bereits alle Abhängigkeit von der Temperatur unablesbar gemacht hat. Petrographisch wäre diese Frage insbesonders an Kontaktgesteinen zu prüfen. Je höher die Temperatur, desto rascher kann die Deformation gleichzeitig erfolgen, ohne daß das Bild des vorkristallin deformierten Gefüges verloren geht.

Was die Abhängigkeit der Rekristallisationsgeschwindigkeit vom Kaltknetungsgrad anlangt, so ist diese Abhängigkeit dort in Betracht zu ziehen und zu prüfen, wo wir an einem einzigen Deformationspräparat, an einer Falte mit Polygonalbogen z. B., Schlüsse aus der Größe des im Polygonalbogen angeordneten Minerals auf Rekristallisationsgeschwindigkeit und auf Deformationsgeschwindigkeit ziehen. Die Abhängigkeit der Rekristallisationsgeschwindigkeit vom Grade der Kaltknetung ist ziemlich groß und könnte zum Ausdruck kommen.

Wir fassen nun das Gesagte zusammen.

Aus einer Gleichung:

$$f\text{ (Korngröße, Kaltknetungsgrad, Rekristallisationstemperatur)} = 0$$

ist eine der drei Größen durch die zwei anderen gegeben.

Uns ist die Korngröße gegeben. Ferner sind uns bisweilen verschiedene Kaltknetungsgrade an verschiedenen Gesteinen oder an verschiedenen Stellen eines Präparats gegeben.

Ferner sind uns gegeben verschiedene Rekristallisationstemperaturen, z. B. näher und ferner von einem wirksamen Kontakt.

Wir können also mit der eben gegebenen Beziehung nicht rechnungsmäßig umgehen. Aber wir können abschätzen, ob sie für eine Gesteinsgruppe besteht mit gleichsinniger Verknüpfung der Größen wie für Metalle. Das ist das Arbeitsgebiet, auf welches ich als auf ein ganz neues zuerst durch Schmidt angeregtes hinweisen wollte, und dessen Bearbeitung erst uns berechtigt von den betreffenden Gesteinen als von Analogien zu Metallen zu reden oder — nicht zu reden.

Wir stehen hier aber auch am Punkte, wo für manche monomikte Gesteine, z. B. gerade Kalke, das Experiment ganz analog zum metallographischen meines Erachtens einsetzen könnte.

Wir wissen bereits, daß die durch die Rekristallisation erzielte Korngröße nur vom Grad der Kaltreckung und von der Rekristallisationstemperatur abhängt, nicht aber von der ursprünglichen Korngröße. Dadurch entsteht der Anschein, als ob die Rekristallisation das einemal Kornzerfall, bzw. Kornverkleinerung erzeuge, das andere Mal Kornvergrößerung, bzw. Kornwachstum, wieder andere Male die Korngröße ungeändert lasse.

Also

$$\text{vorkristallines Korn} \gtreqless \text{nachkristallines Korn}$$

$$\text{nachkristallines Korn} = f\ (\text{Kaltknetung, Rekristallisationstemperatur}).$$

Es wäre nun für die Gesteinskunde von größter Wichtigkeit, eine Vorstellung über die Interferenz von Kaltknetung und Rekristallisation im gleichen stetig verlaufenden Deformationsakt zu bilden. Hierüber sind mir keine Ableitungen bekannt. Man wird unschwer erkennen, was von den folgenden Überlegungen auch für feuchte Rekristallisation gilt.

Wir haben bei der bisherigen Annahme, daß zuerst kalt gereckt, dann rekristallisiert werde, folgende Größen in bestimmter Abhängigkeit voneinander kennen gelernt:

1. Korngröße des rekristallisierten Materials . . . . . kr
2. Kaltknetungsgrad oder Verlagerung v
3. Rekristallisationstemperatur . . . . t
4. Rekristallisationsgeschwindigkeit . . . . gr
5. Kernzahl . . . . z

Wir fragen uns nun zuerst, welche unter diesen Größen am unmittelbarsten davon betroffen wird, wenn wir rekristallisieren lassen, bevor die Deformation zu Ende ist.

Ich schicke ebenfalls voraus, daß das Einsetzen der Rekristallisation, bevor die Deformation zu Ende ist, auf zweierlei Weise erzielbar ist.

a) Indem wir die Temperatur des Versuchskörpers während der Deformation erhöhen. Das ist bei natürlichen Gesteinen möglich durch die Reibungswärme beim Deformationsakt. Da mir unter natürlichen Myloniten bisher keine Gesteine begegnet sind, welche mit Sicherheit annehmen lassen, daß überhaupt für eine Rekristallisation genügend Friktionswärme entstanden sei, wogegen wir ungemein viele Mylonite ohne Rekristallisation kennen, so lasse ich die Behandlung dieses Punktes *a* vorläufig offen.

b) Indem wir die Temperatur des Versuchskörpers während der Deformation gleich belassen, aber die Deformationsgeschwindigkeit dg, die wir nun als weitere Größe mitbetrachten, verkleinern. Das ist eine von der geologischen Wahrscheinlichkeit unbedingt erlaubte Annahme, abgesehen davon, daß wir in den parakristallin deformierten Gesteinen Beispiele für das Ineinandergreifen von Deformation und Umkristallisation kennen. Wir verkleinern die Deformationsgeschwindigkeit so, daß bei der angenommenen Temperatur während der Deformation bereits Rekristallisation stattfindet.

Wir wissen von früher her, daß die Rekristallisationsgeschwindigkeit bei höheren Temperaturen viel höher ist als bei niedrigeren.

Je höher also die Temperatur des zu deformierenden Stückes ist, desto größer darf die Deformationsgeschwindigkeit sein, ohne daß die Deformation zu rasch für mitlaufende Rekristallisationsprozesse abläuft.

Ich habe bereits an Gesteinsfalten diese beiden Fälle sicherer parakristalliner und vorkristalliner Deformation deskriptiv unterschieden und mit Stark auf Fälle hingewiesen, in welchen die Deformation „zu schnell“ für eine Rekristallisation ablief, wobei wir aber noch nicht zwischen trockener und feuchter Rekristallisation unterschieden.

Wir stellen vorläufig fest, daß es für ein gesteinsbildendes Mineral innerhalb des Temperaturbereiches seiner Stabilität wieder einen engeren Temperaturbereich geben kann, in welchem von der Temperatur ermöglichte sichere parakristalline Deformationen des Minerals am wahrscheinlichsten sind. Nehmen wir z. B. an, daß das Mineral unter dem betreffenden Druck bis zu seinem Schmelzpunkt beständfähig sei. So wird nahe am Schmelzpunkt (also in entsprechender Rindentiefe oder Kontaktnähe) bei jeder Deformationsgeschwindigkeit das Bild sicherer parakristalliner Deformation des Minerals, bzw. des Gesteins in bezug auf dieses Mineral, entstehen und also in allen Deformationen herrschen. Und es wird der Einfluß des örtlich in der Deformation verschiedenen Kaltknetungsgrades auf die Korngröße unlesbar sein, weil jedes Korn schon bei geringster Kaltknetung rekristallisiert.

Bei geringeren Temperaturen (also in geringerer Rindentiefe oder kontaktferne) werden unter den Deformationen bereits solche wahrscheinlich sein, in welchen die Rekristallisation erst nach höheren Kaltreckungsgraden eintritt und also örtlich verschiedene Kaltreckung des Präparats schon aus der Korngröße ablesbar wird und in welcher das sichere Bild parakristalliner Deformationen zurücktritt, gegenüber nachkristallinen Deformationen und gegenüber den mehrdeutigen vorkristallinen, welche, wie ich immer betone, nur ablesen lassen, daß die Kristallisation den Deformationsakt überdauerte.

Eine behutsame Durcharbeitung der einzelnen Minerale von solchen Gesichtspunkten aus wird die in verschiedener Rindentiefe ausgeprägten Tektonite erst verständlich machen und ist also eine zu leistende petrologische Vorarbeit für die Petrotektonik.

Wir gehen hier nicht darauf ein, sondern knüpfen wieder an die Erörterung an.

Wir haben also die Rekristallisation während der Deformation durch deren hinlängliche Verlangsamung angenommen und bereits gefragt, welche unserer Größen direkt vom Einsetzen der Rekristallisation betroffen wird?

Diese Größe ist der Kaltknetungsgrad oder die Verlagerung v. Denn es ist sicher, daß der Kaltknetungsgrad um so geringer bleibt, je rascher ihm die Rekristallisation während der Deformation auslöscht und aufhebt, je langsamer bei konstanter Temperatur die Deformation erfolgt.

Wir sehen nun noch, was es für die Beziehungen unserer Größen und sodann für das Gefüge für Folgen hat, wenn wir den Kaltknetungsgrad v klein werden lassen:

1. Die untere Grenze der Rekristallisationstemperatur nähert sich dem Schmelzpunkt, wird $v = 0$, so erfolgt Kristallisation überhaupt erst beim Schmelzpunkt.

In jedem anderen Fall $v > 0$ kann Kristallisation, für welche nun der Name „Rekristallisation“ erst einen Sinn bekommt, schon unter dem Schmelzpunkt erfolgen.

2. Je kleiner v wird, desto mehr nimmt die Korngröße bei konstanter Temperatur zu und es hängen Verschiedenheiten der Korngröße nur mehr von den Temperaturunterschieden ab. Können wir für das ganze Präparat gleiche Temperatur annehmen, wie in Gesteinen, so wird in diesem Falle einem sehr kleinen alsbald von der Rekristallisation ausgeglichenen v ein gleichmäßiges relativ großkörniges Gefüge entsprechen, das an Stellen stärkerer Kaltknetung sogleich kleinkörniger wird.

3. Wird v klein, so wird auch die Rekristallisationsgeschwindigkeit klein und sie wird 0 bei $v = 0$; das heißt wieder: ohne Kaltreckung keine Rekristallisation. Bei sehr kleinem v wird auch die Rekristallisationsgeschwindigkeit, auch bei Temperaturen nahe am Schmelzpunkt klein. Schwächer kaltgereckte Gesteinsteile rekristallisieren langsamer. Es sind also Präparate denkbar, welche nur teilweise, nur an den stärker kaltgekneteten Stellen rekristallisiert sind. Und es sind Gesteinsserien denkbar, deren verschieden starke Rekristallisation auf (u. U. lagenweise) verschieden starke Kaltknetung zurückgeht. Beides gilt bei Naturpräparaten nur, wenn man nicht für alle Fälle annimmt, daß die lange verfügbare Zeit alle Unterschiede in der Rekristallisationsgeschwindigkeit ausgeglichen habe. Es gibt aber Fälle, wie die polygonalen Faltenbögen, in denen wir den Deformationsakt zeitlich gliedern können und auf diese Weise prüfen, ob Unterschiede in der Rekristallisationsgeschwindigkeit im Präparat zu Worte kommen. Nehmen wir z. B. schematisierend an:

I. 1. Gleiche Temperatur für 2 Falten f_1 und f_2;
2. gleiche Rekrisallisationsgeschwindigkeit;
3. gleiche Wachstumsgeschwindigkeit der Körner;
4. gleiche Deformationsgeschwindigkeit $gdf_1 = gdf_2$.

In diesem Falle I werden sich die Gefüge der beiden Teile überhaupt nicht unterscheiden.

II. Es gelte 1, 2, 3, $gdf_1 > gdf_2$.

Es unterscheiden sich also die beiden Falten (bzw. allg. Deformationen) nur dadurch, daß die eine (f_1) schneller deformiert wird, als die andere (f_2). Da bei beiden die Rekristallisationsgeschwindigkeit gleich gesetzt ist, so bestehen folgende Möglichkeiten:

α. Es können sowohl gdf_1 als gdf_2 im Vergleich zur Rekristallisationsgeschwindigkeit (gr) so klein sein (oder anders gesagt, man kann beide Versuchskörper so langsam deformieren), daß in beiden Versuchskörpern die Rekristallisation Zeit hat, sich in dem der Temperatur und dem geringsten Kaltreckungsgrad entsprechenden Ausmaße zu vollziehen. In diesem Falle (α) wird sich der Unterschied in der Deformationsgeschwindigkeit der Präparate nicht im Gefüge ausprägen und nicht im Gefüge ablesbar sein. Liegen beide Deformationsgeschwindigkeiten gdf_1 und gdf_2, unter der Grenzgeschwindigkeit der Deformation, so unterscheiden sich also die beiden Präparate im Gefüge nicht.

β. Es kann entweder gdf_1 oder sowohl gdf_1 als gdf_2 über der eingeführten Grenzgeschwindigkeit liegen. Das heißt, die Deformation erfolgt so rasch, daß die Rekristallisation nicht Zeit hat, sich in der Temperatur und dem betreffenden Kaltreckungsgrad entsprechenden Weise zu vollziehen. In diesem Falle erfolgt während der Deformation sozusagen ein Rekristallisationsverzug. Der deformierte Körper ist für die betreffende Temperatur überreckt. Der Kaltknetungsgrad v steigt um so höher, je weniger der Rekristallisation Zeit gelassen wird, ihn auszugleichen, je rascher also die Deformation erfolgt. Mit der Deformationsgeschwindigkeit gd steigt also der Kaltknetungsgrad v; von einer unteren Grenze der gd an.

Mit der größeren Deformationsgeschwindigkeit sind also alle jene Merkmale gesteigert, welche wachsendem v bereits zugeordnet wurden. Das schneller deformierte Versuchsstück zeigt also bei der angenommenermaßen gleichen Temperatur beider Stücke:

1. unter Umständen schon bei einer Temperatur Rekristallisation, bei welcher Temperatur das langsamer deformierte Stück überhaupt noch keine Rekristallisation zeigt;

2. geringere Korngröße;

3. größere Rekristallisationsgeschwindigkeit.

Dieser Umstand, daß nämlich mit der Deformationsgeschwindigkeit auch die Rekristallisationsgeschwindigkeit wächst, kann die Wirkung der größeren Deformationsgeschwindigkeit verringern (wo nicht aufheben);

4. höhere Kernzahl.

Es kann also eine beobachtete geringere Rekristallisations-Korngröße auf raschere Deformation des Stückes mit geringerer Korngröße zurückgehen, wenn die Deformationen nicht zu langsam erfolgen.

III. Es gelten 1, 2, 3, 4.

Aber wir betrachten nun den Fall, daß die Körner, und zwar z. B. die tangentialen Körner in einer „Polygonalfalte" verschiedene Wachstumsgeschwindigkeit im Vergleich zur Deformationsgeschwindigkeit haben können. Und wir fragen uns, welche verschiedene Gefügetypen daraus resultieren.

Wir setzen dabei fest, daß wir unter der Geschwindigkeit ähnlicher Deformationen den reziproken Wert der Zeit verstehen, während welcher die Ausgangsform in die Endform übergeht und alle hiezu korrelaten Verschiebungswege der Teile aneinander zurückgelegt werden.

Wir betrachten zuerst folgenden Fall. Ein Gefüge wird deformiert. Dabei werden alle vorhandenen Körner des Minerals M kaltdeformiert und kristallisieren nach den bereits erörterten Regeln. Nun soll aber M außerdem neukristallisieren können. Und zwar sollen die Körner von M wachsen können, wie wir dies an Hemiblasten und Holoblasten vielfach nachweisen können. Dieses neukristallisierte, bei dem hier betrachteten Falle während der Deformation neukristallisierte M, heiße M_1.

Wir haben nun zu unterscheiden, ob die Kristallisation und die Deformation stetig oder unstetig verläuft,

1. Kristallisation stetig, Deformation unstetig.

Verläuft die Deformation unstetig, wie dies von manchen Gesteinen wahrscheinlich zu machen ist, so ist es möglich, daß die erste neu kristallisierte Portion von M_1, nennen wir sie M_1' irgendwelchen Vorzeichnungen durch den ersten Deformationsakt folgt; also in einem (Jb. 1923) erörterten Sinne mittelbare Teilbewegung dieses ersten Deformationsaktes D_1' ist. Aber schon im zweiten Deformationsakt D_2' liegt M_1' bereits kristallisiert vor, wird demgemäß von D_2' kaltdeformiert und kann gegebenenfalls rekristallisieren.

Das geht so weiter, bis die Deformationsakte D_1', D_2' bis D_n' und damit die ganze betrachtete Deformation abgelaufen ist.

Nach dieser Deformation wird das Material M_1' bis M_{n-1}', also fast das ganze M_1 Kaltknetung oder wenigstens Kaltbeanspruchung und gegebenenfalls Rekristallisation durchgemacht haben. Wir haben dabei die Kristallisation von M_1 stetig angenommen, die Deformation unstetig.

2. Kristallisation stetig, Deformation stetig.

Lassen wir unsere Deformationsakte einander ohne Pausen folgen, in welchen merkliche Kristallisation von M_1 erfolgen könnte, so verläuft die Deformation für unsere Betrachtung stetig. Das ist der theoretisch im Sonderfall Kristallisationsschieferung am längsten betrachtete Fall. Lassen wir Kristallisation von M_1 und Deformation unabhängig voneinander ablaufen, ohne jede kausale Verknüpfung ihrer Geschwindigkeiten, so würde sich dasselbe ereignen wie im Falle 1: mit Ausnahme des Bruchteils M_n' wird das ganze neugebildete Material M_1 Kaltknetung oder wenigstens Kaltbeanspruchung und gegebenenfalls Rekristallisation durchgemacht haben.

Gelänge es, jene kausale Verknüpfung zwischen der Kristallisationsgeschwindigkeit von M_1 und der Deformationsgeschwindigkeit aufzustellen, etwa in der Form, daß die Kristallisation von M_1 in einem solchen Tempo erfolgt, daß die Kristallisation von M_1 als mittelbare Teilbewegung zur Deformation auftritt, so wird dies gleichwohl nicht verhüten, daß das bereits gebildete M_1' bis M_x' die Schicksale von M mitmacht, d. h. kaltbeansprucht wird und gegebenenfalls rekristallisiert. Nur wenn wir annehmen, daß Deformation überhaupt nur dort und dann erfolgt, wo und wann Umkristallisation als unmittelbare Teilbewegung möglich ist und nur im Tempo dieser Umkristallisation als Teilbewegung überhaupt das Ganze (tektonoblastisch) deformierbar und deformiert wird, nur unter dieser Annahme, welche auf einen wichtigen Unterschied zwischen Festigkeitsversuch im Laboratorium und in der Natur Bedacht nimmt, haben wir deformierte Gesteine mit überdauernder Kristallisation zu erwarten (also vorkristallin deformierte Gesteine), für welche die mechanische Deformation von M_1 und damit auf jeden Fall die Analogie zu den rekristallisierten Metallen und die Auswirkung dieser Analogie im Gefüge fehlt.

Bei solchen fraglichen tektonoblastischen Gesteinen hat also die Kristallisationsgeschwindigkeit von M_1 und die Deformationsgeschwindigkeit das oben erörterte charakteristische Verhältnis. Die Kristallisation ist unmittelbare Teilbewegung der Deformation. Das Vorkommen dieses Verhältnisses wäre ohne die erörterte kausale Verknüpfung gänzlich unwahrscheinlich und es ist diese wiederum wohl nur bei teilweiser Schmelzung oder nach Becke-Rieches Prinzip denkbar. Tektonoblastisch deformierte Gesteine fallen von vornherein nicht unter die erörterten Gesetzmäßigkeiten analog rekristallisierten Metallen.

Finden wir aber diese Gesetzmäßigkeiten in Gefügen deformierter Gesteine — nun so haben wir Gründe, in solchen Fällen nicht an echte Tektonoblastese zu denken.

3. Kristallisation unstetig, Deformation stetig.

Der in der Natur, z. B. durch das Auftreten von Holoblastengenerationen während einer Deformation, vertretene Fall, bietet nichts neues für die Entwicklung der uns hier beschäftigenden Begriffe.

Ebenso nicht der 4. Fall unstetiger Kristallisation und Deformation, welcher ebenfalls in der Natur naheliegend, aber nur mit Hilfe der unter 1 und 2 gewonnenen Gesichtspunkte mehr oder weniger beurteilbar wird, wenn man über die zeitliche Gliederung, welche gerade in solchen Fällen am besten durchführbar ist, hinausgehen will.

Ich habe schon lange rein deduktiv darauf aufmerksam gemacht, daß begrifflich jeder sogenannten Warmknetung eine Kaltknetung vorausgeht, mit nachfolgender Rekristallisation. Infolgedessen sind die Begriffe Kaltknetung und Warmknetung nicht zu kordinieren, wozu diese Ausdrucksweise verführt, sondern: es besteht Kaltknetung aus Kaltknetung und ist nachkristalline Deformation ohne Rekristallisation und es besteht Warmknetung aus Kaltknetung + Rekristallisation und ist nachkristalline Deformation mit Rekristallisation, wobei die Akte in der umrißweise erörterten Weise ineinandergreifen können.

Dem lassen sich nun die eindringlichen Darlegungen Csochralskis 1924 beifügen, z. B.:

„Das Warmkneten ist gewissermaßen als Kombination von Kneten und Glühen aufzufassen“ (S. 254).

Es ist der Metallographie gelungen, die Wachstumshypothese, welche wir Petographen nach Rinne als Sammelkristallisation bezeichnen, für die trockene Rekristallisation der Metalle auszuschließen:

Auch wenn sich das Korn durch die Rekristallisation vergrößert erfolgt dies nicht so, daß größere Körner kleinere aufzehren. Wir sind da durch Czochralski vor die Frage gestellt worden, ob es nicht auch rekristallisierte Gesteinsgefüge gibt, bei welchen bleibend deformierte Kristalle bei ihrer Rekristallisation neugebildete „Kerne“ vergrößern und weiterbauen.

Das Entstehen solcher „Kerne“ im Inneren deformierter Metallkristalle ist von Czochralski gezeigt. Es ist hiezu übrigens meine Meinung, daß diese Rekristallisation, bzw. Neubildung von Kristallen, nicht regellos (in Bezug auf die Achsenlage der neugebildeten Körner) erfolgt, sondern auf die Orientierung des Ausgangskristalls seine Deformation und vielleicht auch Nachbarkristalle beziehbar erfolgt. So wie wir dies z. B. kennen, wenn kristalline Abbildung eines tektonisch geregelten Quarzgefüges erfolgt. Übrigens scheint mir eine Regelung beziehbar auf die Lochkontur in den Bildern, welche Czochralski von rekristallisierten gelochten Blechen gibt, ersichtlich.

Je gründlicher man glüht, desto mehr verlieren die Körner ihre zackigen Konturen, um so mehr besteht das Intergranularennetz aus einfachen glatten Maschen. Es ist das sehr beachtenswerterweise ganz derselbe Anblick, welchen wir bei Kontaktgesteinen und Gesteinen tiefster Stufe als Mosaikstruktur lange kennen, ob nur bei vorher durchbewegten, läßt sich derzeit nicht sagen. Der Vorgang ist von Gürtler als Einformung bezeichnet. Ein näheres Studium der Einformung fehlt anscheinend derzeit auch dem Metallographen.

Aktive Gefügeregelung (Wachstumsstrukturen).

Trotz aller Einblicke, welche wir noch von der Beachtung passiven Gefügeregelung in Gesteinen zu erwarten haben, müssen wir festhalten, daß auch das Wachstum der Kristalle zu geregelten Gefügen führt, welche ich schon vor 12 Jahren den passiv geregelten Gefügen gegenüber gestellt habe. Gerade vom Vergleich aktiver und passiver Gefügeregelungen bei ein und demselben Mineral sind für die Geologie wohl noch wertvolle Hinweise zu erwarten, welche die Entstehungsgeschichte des Gesteins betreffen. Man wird aus dem Gefüge ablesen lernen, ob die beobachtete Anisotropie des Gefüges durch Regelung zurückgeht auf eine Durchbewegung unter gemäßen Bedingungen, eventuell mit nachträglicher kristalliner Abbildung des passiv geregelten Gefüges oder auf die Kristallisation. Ja es werden sich im letzten Falle voraussichtlich noch verschiedene Arten der Regelung desselben Minerales finden, je nachdem die Kristallisation primär, z. B. im Sedimentations- oder Erstarrungsakte, erfolgte, wie das bisher nur bei den geregelten Kristallrasen der Drusen und Gänge beobachtet wurde, oder sekundär im kristallisierenden Gesteinsgefüge, wie in diagenetisch kristallisierten und in vielen kristallin-metamorphen Gesteinen.

Wir unterscheiden hiernach vorläufig passiv geregelte Gefüge und aktiv geregelte [1]) und unter letzteren wieder primäre und sekundäre. Es ist das eine genetische Einteilung, zu welcher wir die zugehörigen deskriptiven Kriterien zum kleinen Teile besitzen, zum großen Teile aber erst zu erringen haben. Immerhin können wir schon auf Grund der bisher erörterten Kriterien für passive Regelung und auf Grund neuerer, gleich zu erwähnenden Grundlagen von Kalb, Groß, Möller, Glocker und auf Grund auch hier wieder wesentlicher Beobachtungen von Becke meines Erachtens hoffen, einmal die Anisotropie, z. B. in der Wärmeleitung eines Gesteins zu verstehen als Ergebnis früherer Durchbewegung oder primärer oder sekundärer Kristallisation mit Regelung. Und wir könnten meines Erachtens hoffen, in absehbarer Zeit mit optischen und röntgenoptischen Mitteln auch eine statistisch schwach ausgeprägte Regelung eines Kalkes als aktive oder passive deuten zu lernen.

[1]) In einem weiteren Sinne als T. M. M. 1915. Einigermaßen umfassend wäre es, etwa folgende genetische Typen der Gefügeregelung zu unterscheiden: durch Wachstum, Deformation, Aufbereitung (z. B. mechanische Aufbereitung im Glimmersandstein), Abbildungskristallisation.

Für derartige Versuche wird es nötig sein, nicht nur die bereits erwähnten Gesichtspunkte festzuhalten, sondern auch die bereits vor mehr als 10 Jahren in die Petrographie eingeführten Begriffe der Abbildungskristallisation im weitesten Sinne, ferner der Beziehung zwischen vorgezeichnetem Gefüge und Teilbewegung (Ausarbeitungsprinzip), der Wegsamkeit des Gefüges für Lösungen und für wachsende Kristalle. Es ist gerade mit Hilfe dieser zuletzt in T. M. M. 1915 (S. 103—113) von mir in Übersicht gebrachten Gesichtspunkte möglich, die allgemeine petrographische Bedeutung einiger neuerer Arbeiten zu sehen, welche zum Teil damals aufgeworfene Fragen, wie die nach dem Verhalten frei und in Kapillaren mit Überwindung mechanischer Widerstände kristallisierender Substanzen (vgl. S. 113 l. c.) glücklich und anregend gelöst haben.

Nachdem Becke (T. M. M. 1889, 491 nach Möller) schon früh angenommen hatte, daß Kristalle so an die Wand wachsen, daß sie der Mutterlauge den größtmöglichen Lösungswiderstand darbieten, kam G. Kolb (Centralblatt für Mineralogie 1920, 69) zur deskriptiven Feststellung, daß sich Kristalle mit der Richtung maximaler Wachstumsgeschwindigkeit senkrecht zur Grenzfläche des Mediums stellen und zur Hypothese, daß hiebei die Stelle maximaler Oberflächenspannung zur Anwachsstelle wird. Groß und Möller (Zeitschrift für Physik 1923 ab Seite 375; Möllers Dissertation Greifswald 1924 ab Seite 18, 43) haben experimentell und geometrisch konstruktiv am Salol nachgewiesen, daß im geraden und krummen Röhrchen eine Keimauslese aus der Schmelze stattfindet, derzufolge die Richtung maximaler Wachstumsgeschwindigkeit (am freien Kristall) der Röhrchenachse folgt. Womit bei guter Übereinstimmung im deskriptiven Befund sich auch Kalbs Beobachtungen an Drusen und Kristallrasen ohne seine Hypothese erklären lassen.

Es hat sich aber auch (an *Zn* und *Cd*) gezeigt, daß das Kristallwachstum im gerichteten Molekülstrahl ohne Rücksicht auf den Winkel zur Aufwachsfläche lediglich die Richtung des Molekülstrahls durch Einstellung der c-Achsen wiedergab (Zeitschrift für Kristallographie, Bd. LVI, Heft 4, S. 421). Schließlich hat Mügge (Zeitschrift für Kristallographie, Bd. LIX, S. 366) in einer Erörterung, welche ich im übrigen aber nicht als Erklärung „der Schieferung" gelten lassen möchte, Unterschiede in der Wachstumsgeschwindigkeit für die Entstehung gleichgerichteter Kristallite herangezogen.

Es wurden also Unterschiede in der Wachstumsgeschwindigkeit zur Erklärung aktiver Gefügeregelung vielfach herangezogen. Und zwar ergab sich Stellung $\perp$ zur Wand für die Richtung maximaler Wachstumsgeschwindigkeit ($r_{\max}$).

Diese Regelung wäre also als primäre aktive Regelung freiwachsender Sedimente (Kristallrasen, Drusen etc.) zu erwarten und für solche bezeichnend. Ich habe mehrere 100 *m* ausgedehnte, einige *mm* bis nahezu *cm* hohe, derartige Kalzitrasen mit $c \perp$ Feinschichtung aus den Seefelderschichten bekannt gemacht; ferner die Füllung mikroskopischer Haarrisse durch Quarze mit $c \perp$ zur Wand. Ob diese Regelung auch als sekundäre aktive Regelung im festen Gestein eine

Rolle spielt, ist schwierig zu entscheiden. Es frägt sich nämlich hiebei, ob wir die Schieferungsfläche s etwa wie Mügge (l. c.) seine Streckungshöfe in s als Kapillare betrachten sollen, in welche r_{max} || s hineinwächst, oder als Wand, auf welche sich r_{max} senkrecht stellt.

Mit der zweiten Auffassung wäre unter den mir bekannten Regelungen nur die Stellung der Quarze mit c subnormal s vereinbar, welche aber deutlich eine passive Gefügeregelung ist, so daß ich diese Auffassung von s schon 1915 (T. M. M., S. 109) abgelehnt habe.

Mit der ersten Auffassung sind die Orientierungen der stengeligen und blätterigen Gesteinsbildner vereinbar, ohne sie aber etwa jedesmal und überall zu beweisen.

Schon deshalb ohne sie allgemein zu beweisen, weil wir bekanntlich sichere Einstellungen derartiger Minerale (z. B. Querbiotite) auf Druck schief zu s, also ohne irgendwelche Beziehbarkeit auf s als Kapillare kennen und außerdem gelegentlich mit der Abbildungskristallisation bereits allothiger sedimentierter Keime in subparalleler Stellung zu rechnen haben. Wir haben damit auch die bereits 1915 (T. M. M., S. 108) aufgeworfene, seither aber nicht entschiedene Frage nach einer weiteren Entstehungsmöglichkeit ganz eigentlich „aktiv" unter Überwindung eines Gegendruckes und Einstellung zu demselben wachsender geregelter Gefüge erwähnt, was möglicherweise auf eine Auslese der am druckfestesten orientierten Keime zurückgeht.

Es stellt sich also bei primärer aktiver Gefügeregelung die Richtung maximaler Wachstumsgeschwindigkeit (r_{max}) senkrecht zur Wand, bzw. || zur Kapillare. Wir fanden Gründe, die Schieferungsflächen in diesem Zusammenhange nicht als Wand, sondern als Kapillare zu nehmen, wonach r_{max} || s steht.

Betrachten wir einen gewalzten oder gepreßten Schiefer, der mit dem Hauptdruck $\perp$ s zustande kam, was sich u. a. durch eine ausgesprochene Quarzgefügeregel zeigen kann. Dieser Druck $\perp$ s möge wie nach metallographischen Erfahrungen zu erwarten, die dichteste Gitterebene und die dichteste Gittergerade (d) sub || s stellen. Wenn diese dichteste Ebene und Gerade nicht mit der Richtung maximaler Wachstumsgeschwindigkeit zusammenfällt, so ist es möglich, daß sich das betreffende Mineral im passiv und im aktiv geregelten Gefüge verschieden zu s einstellt.

Die schieferholden Gesteinsbildner (Glimmer, Hornblenden, Epidote, Augite) zeigen maximales Wachstum parallel zu den besten Spaltbarkeiten, mit welchen vermutlich wiederum die dichtesten Gittergeraden parallel laufen. Es ist also gerade in diesen Fällen die erwähnte Verschiedenheit nicht zu erwarten.

Damit schließe ich diese Erörterungen über aktive und passive Gefügeregelung; um so mehr als eine sachdienliche Verwendung des Fedorow für ganze Schliffe und die Herstellung genau orientierter Gefügeschnitte die ganze Angelegenheit erst in ein neues fruchtbares Stadium rücken wird.

Einige Beziehungen zur Kleingefügedeformation bei W. Schmidt.

Schließlich soll einiges von Schmidts Auffassungen (*l. c.*) vorläufig Abweichende meiner Auffassung notiert und darüber weder der Übereinstimmung in so vielem Wesentlichen, noch der frischen eigenen Gedanken dieser Arbeit, noch des bleibenden Verdienstes Schmidts vergessen werden, zuerst die Metallographie (Mittlg. d. Geol. Ges. Wien, 1915) ausführlich herangezogen und versucht zu haben, wie weit man mit der Scherung als Zentralbegriff der Tektonik kommt, ferner den Lösungsumsatz der Kritik ausgesetzt zu haben.

Angesichts der früher sehr weitgehenden, jetzt eingeschränkten Annahme Schmidts, „die *s*-Flächen eines Gesteins stellen unmittelbar die Lage der Gleitflächen dar" (S. 32) ist wohl für Fernerstehende einem Mißverständnis vorzubeugen. *s*-Flächen sind nach meiner Definition ja nichts anderes als Parallelflächen geringeren Zusammenhaltes irgendwelcher primären oder sekundären Entstehung. Gerade um die für den jeweiligen Zweck gleichgültige Entstehungsfrage auszuschalten, spricht man von *s* Flächen. Wenn wir nun von primärem *s* ganz absehen, so haben wir durch Gleitung ausgearbeitetes *s*, welchem ich immer die größte Rolle zuwies; ferner kristallin abgebildetes (primäres oder sekundäres) *s* mit der verschiedensten Vorgeschichte; ferner ein *s* mit Kristallitenregelung durch Walzung, wie ich annehme; endlich wahrscheinlich auch ein tektonoblastisches *s*, welches, wie ich hervorhob, die Hauptdrucke (Normaldrucke) des *s* Steinellipsoids abbildet (Kristallisationsschieferung Beckes, genetisch genommen). Alles *s*-Flächen, welche durch die Bezeichnung als Scherflächen nicht definiert sind.

Ich kann mich nach wie vor nicht der Bezeichnung anschließen, welche die verschiedenen Typen nachkristalliner Teilbewegung, wie ich sie seit (1915, T. M. M.) immer wieder ergänzend unterschieden habe, einschließlich sogar der intergranularen Teilbewegung und Kataklase als Kaltreckung bezeichnet. Es wäre das nicht nur ein Rückschritt gegenüber jener durch Beispiele erörterten Systematik der Teilbewegungen, sondern in dieser Form auch ganz und gar unbegründbar gegenüber dem metallographischen, heute zwar noch immer nicht einheitlich, aber doch von allen Seiten sehr eingehend begründeten Terminus Kaltreckung, den man durch Untersuchungen, wie die über die Quarzgefüge und die in diesem Abriß vorgeschlagenen, wohl für die Petrographie erobern kann, aber nicht allzusehr seines deskriptiven Inhaltes entkleidet übertragen darf. Auch daß man sich in Gesteinsbeschreibungen polymikter Gefüge meist mit allen Angaben über vorkristalline, nachkristalline, mechanisch-chemische usw. Deformation auf die Einzelminerale beziehen muß, möchte ich wiederholen. Es wäre sogar zu raten, weit weniger oft von kristalloblastischen Schiefern zu reden, als bestenfalls von Gesteinen mit nachweislicher tektonoblastischer Deformation des Minerals 1, 2 u. s. f.; man wäre so vielen unbegründbaren, ja halbbewußten Behauptungen entgangen durch rechtzeitige Genauigkeit in der Sache.

Ferner ist es unmöglich, heute schon — ehe an den gesteinsbildenden Mineralen die Eigenschaftsänderungen durch Kaltreckung bekannt sind — die Grenze der „Warmreckung“ (S. 34, 41) für Gesteine dadurch zu kennzeichnen, daß keine Eigenschaftsänderungen mehr erfolgen. In dieser Definition ist eben Warmreckung an Gesteinen heute noch überhaupt nicht konstatierbar, wohl aber z. B. parakristalline Deformation, wie mein älterer weiterer Begriff heißt. Ich bin überzeugt, daß die Einführung des Begriffes Warmreckung in die Gesteinskunde Verwirrung erzeugt, ehe nachgewiesen ist, daß sie im Sinne der Metallographen überhaupt für Gesteine existiert, also nach Schmidt „als die Umformungsart bei höheren Temperaturen, wo keine Störungen der Raumgitter, keine Abänderungen der physikalischen Eigenschaften mit der Durchbewegung verbunden wird“ (S. 41).

Wichtiger scheint es mir, bei den Gesteinen ins Auge zu fassen, daß die Durchbewegung oder Kaltknetung eines unstabilen Kornes zur trockenen oder feuchten Rekristallisation stabiler Phasen an dessen Stelle führt. Das möchte ich den Leitsatz der tektonischen Erforschung der Mineralfazies nennen und habe es mehrfach in der vorliegenden Arbeit umrissen.

Der Weg zur Klärung solcher Fragen führt über genaue Rekristallisationsstudien, wie ich sie hier vorgeschlagen habe und wie sie dieser Arbeit folgen sollen. Auf diesem Wege werden wir vielleicht, in Erfüllung der durch Schmidts frische Anregungen gegebenen Impulse, einmal echte warmgereckte, als Unterabteilung meiner vorkristallin deformierten Gesteine begegnen, wie dies nach Schmidts Deduktion (S. 43/44) zu erwarten wäre. Was übrigens meine Bezeichnungen vorkristallin deformiert, nachkristallin deformiert und parakristallin deformiert angeht, so decken sich diese (vgl. S. 55) nicht mit Abbildung, Kaltreckung und Warmreckung, sondern sind vorsichtshalber als viel weitere Begriffe aufgestellt, denen Abbildung, Kaltreckung und Warmreckung logisch als zuordenbare Sonderfälle gegenüberstehen. Wir brauchen aber für Gesteine weitere Begriffe als für Metalle und dies wird sich nie ändern, so willkommen alle Anregungen von der Metallographie her sind. — Schmidt nimmt (S. 35) also aus der Metallographie auch die Erfahrung herüber, daß verbogene kaltgereckte Minerale unterhalb einer gewissen Temperatur gereckt wurden. Auch damit laufen wir vielleicht Gefahr, zu sehr zu vereinfachen. Diese fragliche Temperatur ist nämlich bei den Metallen die Rekristallisationstemperatur oder (wie ich vermute, daß man auch bei Metallen diesen Gedankengang ausbauen wird) eine Umwandlungstemperatur einer unstabilen Modifikation, welche, wie bemerkt, bei unseren Gesteinen die große Rolle spielt. Von Mineralen haben nur die bei der Deformationstemperatur stabilen überhaupt eine Rekristallisationsmöglichkeit und also eine Rekristallisationstemperatur im Sinne der rekristallisierenden Metalle. Bei den unter den natürlichen geologischen Bedingungen so häufigen unstabilen Gesteinsbildnern besteht die Rekristallisation nach der Deformation eben nicht in der Rekristallisation des Ausgangsminerals, sondern einer oder mehrerer stabiler Phasen an dessen Stelle, wobei gewisse Stofftransporte auftreten können und ebenso sehr oft eine der Deformation zuordenbare Regelung der neuentstandenen Phasen (vgl. auch 1923, mechanisch-chemische Deformation). Es gilt nach meiner Vorstellung genau genommen auch nicht der Satz, daß bei einer Kaltreckung Atomumsatz keine Rolle spielt, wenn man dabei nicht nur an den „Molekularumsatz durch Lösung“ denkt und namentlich die Möglichkeit mechanisch-chemischer Deformation berücksichtigt.

Schmidt hat einen Mechanismus der Gefügeregelung in Scherflächen sehr klar beschrieben (S. 36) und dabei auch Kornrotationen verwendet, wie ich das (Jb. B. A. 1923) für den allgemeinen Fall irgendeiner Gefügeregelung diskutiert habe und bei polymikten Gesteinen mit einem leichter fließenden Schmiermineral (z. B. Glimmer) hinsichtlich des weniger leicht fließenden Minerals für besonders verwendbar halte.

Zu den genaueren Unterscheidungen, welche beim Stand der Sache nach meiner Arbeit und der Schmidts nun zeitgemäß sind, gehört nun die strenge gedankliche Unterscheidung von zwei Arten von passiver Kristallitenregelung. Deren erste scheint mir ganz wie die Kristallitenregelungen der Metallographen auf Druckextreme (z. B. Druck senkrecht auf die Walzebene) beziehbar zu sein und ich habe die Quarzgefügeregel von jeher in diesem Sinne dargestellt und (1923) versucht, folgerichtig neben das Zinkgefüge Polanyis zu stellen. Die zweite Möglichkeit einer Einstellung der von mir (1911 T. M. M., über Böhmische Streifung) als betonteste Quarzgleitfläche beschriebenen (0001) in die Scherfläche des Gesteins oder in ein sekundär gleitendes s besteht gewiß ebenfalls. Es wäre hienach im Quarzgefüge zwischen beiden Fällen nur dann zu unterscheiden, wenn sich das Korn wie im Falle der Walzung entscheiden muß, ob es sich mit (0001) in die Walzebene oder in eine der in bezug auf die Walzebene symmetrischen Scherflächen des Gefüges einstellt; wobei wir nach der so wichtigen, von Schmidt betonten Erfahrung sehr oft nur eine dieser Scherflächen vorfinden werden. Leider ist mir nicht bekannt geworden, ob sich gewalztes Zink mit der Basis in die Walzfläche regelt, wie ich vermute, da nur so der Symmetrie vollkommener Walzung und der Bedeutung der Richtung quer zur Walzrichtung zugleich entsprochen wird.

Mit dem sehr guten Hinweis Schmidts (S. 52) auf die rhombische Symmetrie mancher Schiefer (von mir als Symmetrie des dreiachsigen Ellipsoids gekennzeichnet 1923) und auf die monokline Symmetrie anderer stimme ich vollkommen überein, auch mit der seit Becke üblichen Beziehung ersterer auf Strainellipsoidhauptschnitte und letzterer auf Scherflächen. Es scheint mir aber doch bei den von Schmidt angeführten (S. 52/53), ausgezeichnet definierten Fällen möglich, wenn auch näherer Untersuchung bedürftig, daß sich da wie beim Walzen zwei ungleichwertige s-Flächen überlagern. Die eine s_1 ist Schieferungs- und zugleich Walzungsfläche mit korrelater Kristallitenregelung, normal zum Walzdruck. Die andere s_2, welche zur ersten schief steht und damit den monoklinen Charakter des Gesamtgefüges bedingt, ist eine Scherfläche zur Walzung mit ebenfalls korrelater Kristalliteneinstellung. Die Einstellung einer und derselben Kristallitenart wird im allgemeinen sowohl s_1 als s_2 gegenüber dieselbe sein, nämlich: beste Gleitebene des Kristalliten $||$ s_1 oder eben $||$ s_2. Wir könnten, wie das in Metallgefügen bekannt, aber meines Wissens nicht restlos erklärt ist, auch in Gesteinen eine Überlagerung verschiedener gleichzeitiger

Regelungen derselben Kristallitenart korrelat zum selben Deformationsakte des Ganzen bedenken. Hier scheint mir vielleicht anzuknüpfen, wenn man diese schönen Deduktionen Schmidts ergänzen will. Darin jedoch, daß Schmidt (S. 54) a priori immer wieder nur ein älteres *s* „im Anschlusse an die Scherflächen" annimmt, kann ich nicht folgen, da ich bisher immer Anschluß der jüngeren Scherflächen an älteres *s* beobachtet habe; womit ich nicht leugne, daß der andere Fall existiert, ihn aber aufgezeigt sehen möchte.

Schmidt hat (S. 38) den kaltgereckten kristallinen Schiefer geradezu definiert als ein Gestein mit passiver Kristallitenregelung nach ausgezeichneten Flächen und Richtungen. Ich glaube, daß damit zwar die 1915 betonte Allgemeinerscheinung der passiven Kristallitenregelung gut zu Worte käme, daß man aber doch besser derartige Gesteine als nachkristalline Tektonite bezeichnet, wobei der kaltgereckte kristalline Schiefer wieder nur ein zuordenbarer Sonderfall ist. Ist es doch meines Erachtens mit Sicherheit zu erwarten, daß man lernen wird, auch in den Gesteinen., welche wegen des Fehlens jeder Sekundärkristallisation niemand kristalline Schiefer nennt z. B. im nächstbesten Kalk, aktive (Wachstums-) und passive (Deformations-) Regelung zu unterscheiden und damit die betreffenden Schicksale des Gesteins aus dem Gefüge abzulesen.

Das Rieckesche Prinzip, daß ein Körper unter Zwang leichter löslich ist als ohne Zwang (n. Schmidt S. 46) hat seine sichere Auswirkung als Sonderfall auf dem viel weiteren Gebiete der tektonischen Entmischung (vgl. Jb. R. A. 1923). Es gibt da unter den wirklichen und virtuellen Hohlräumen (-Stellen geringeren Druckes) viele, welche das Anreicherndes Stoffes an druckgeschützten Stellen und damit rein geometrisch sein Wandern nach solchen Stellen deutlich veranschaulichen, worauf ich für verschiedenste Ausmaße auch für die Lagerstättenkunde gelegentlich hingewiesen habe, z. B. Haarrisse, Druckschatten in den Augenwinkeln von Feldspataugen, Räume zwischen den Schenkeln aufeinander reitender Falten usw.

Unter den vielen anregenden Deduktionen des Abschnitts über chemische Umformung möchte ich einen Hinweis Schmidts hervorheben (S. 48) darauf, daß das Rieckesche Prinzip den Elastizitätskoeffizienten hereinzieht und also schon mit der Herabsetzung der Elastizitätsgrenze in der Temperatur größerer Tiefen an Aussichten verliert wirksam zu werden. Es ist das für den Beckeschen Ideengang eine Ergänzung: Das Verschwinden der Schieferung in größeren Tiefen kann innerhalb dieses Ideenganges sowohl auf das Abnehmen gerichteter Drucke, als auf dieses Sinken der Elastizitätsgrenze zurückgehen.

Die Schmidtsche Annahme (S. 49), daß der Wachstumsdruck in kristalloblastischem Gefüge auch eine deutliche Sonderbeanspruchung erzeugen kann, habe ich durch ein Belegpräparat bereits (1912 Jb. B. A.) nachgewiesen.

Schmidt betont (S. 50), daß das Becke-Rieckesche Prinzip die Kristallitenregelung nicht erklären könne, sondern bestenfalls die Formregelung, d. h. Gleichrichtung nach Korndurchmessern. Aber er erkennt wenig später (S. 54) doch das genannte Prinzip als regelnd bezüglich der Querbiotite an, womit denn doch ein grundsätzlich genügender Fall gegeben wäre. Ich glaube, daß auch in dieser Deduktion (S. 50) die Scherflächen zu sehr in den Vordergrund gestellt sind gegenüber z. B. der Walzungsebene, in der die Kristallitenregelung normal zum walzenden Druck erfolgt. Auch mit der Möglichkeit einer Kornauslese durch den Hauptdruck wäre als mit einer Möglichkeit zur Regelung wachsender Kristallite zu rechnen. Ein derartiges Beispiel (Hornstein) habe ich einmal beschrieben und es findet sich der Gedanke, wenn ich nicht irre, früher schon bei Becke.

Zu den Deduktionen Schmidts (S. 57) gegen die Streckung im Kleingefüge möchte ich bemerken, daß die Streckachse auch im Kleingefüge durch darauf senkrechte Zugrisse als Ausweicherichtung geringsten Druckes gekennzeichnet ist nicht nur durch die Umrisse und durch die Regelung einer oder mehrerer Kristallitenarten; ferner daß die Streckachse mit den Faltenachsen und mit der Richtung quer zur Walzrichtung zusammenfällt in einem Bewegungsbilde der Stengel- und Walzfalten, welches ich vom Tauernwestende aus in die Literatur eingeführt habe. In solchen gewalzten Stengelfalten können sehr wohl Scherflächen aus der Zone der Streckachse, um mich kristallographisch auszudrücken, vorkommen. Aber es ist höchst unwahrscheinlich, daß diese Scherflächen sich gerade mit so gesetzmäßigem Verhältnis der Schiebungsbeträge folgen, daß sich stetig runde Scharniere als Gleitbrettfalten bilden.

Überhaupt bildet das Auftreten von auch unter dem Mikroskop noch stetigrunden, glimmerhautumschmiegten Scharnieren, welche bisweilen zerschert, keineswegs aber durch Zerscherung entstanden sind, in einer größeren Zahl von mir bereits untersuchter Falten das wichtigste, wenn auch nicht einzige Gefügekriterium, gegen deren Entstehung als Gleitbrettfalten.

Ich zweifle nicht, daß derartige Abweichungen nur Wege sind, unsere gemeinsamen Bestrebungen zu vertiefen und unsere gemeinsamen Anschauungen zu vermehren, deren ich mich neben den durch Schmidts Arbeit gegebenen Anregungen freue.

Innsbruck, im April 1925.

Inhalt.

Sachverzeichnis.