

Einströmungs- und Amplatzgefüge von Graniten (Beiträge zur Tektonik von Fließgefügen I)

Autor(en): **Nickel, Erwin**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen
= Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie**

Band (Jahr): **43 (1963)**

Heft 2

PDF erstellt am: **29.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-33469>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Einströmungs- und Amplatzgefüge von Graniten

(Beiträge zur Tektonik von Fliessgefügen I)

Von *Erwin Nickel* (Fribourg)

Mit 5 Textfiguren

Inhaltsverzeichnis

Vorwort. — Fliesen und Erstarren im Granit. — Grenzfazies und Angleichgefüge. — Syn- und posttektonische Granite in Spanien/Portugal. — Erfahrungen im Montblanc-Massiv. — Das Experiment. — Literatur.

Zusammenfassung

Das Gefüge von Granit ist bestimmt vom Einströmen in den Erstarrungsraum und von den Kräften, die vom Rahmen her auf die abkühlende, kristallisierende Schmelze einwirken. Die von aussen wirkenden Kräfte können den Erstarrungsprozess überdauern. Zwischen der Fixierung eines magmatischen Fliessens und der metamorphen Kristallisation gibt es also alle Übergänge; zur Klärung dieses Zwischenbereichs soll diese Arbeit beitragen.

Es werden die Merkmale des Fliessens erläutert und experimentell vorgeführt. Der Einfluss der äusseren Kräfte wird an Beispielen erläutert: Angleichgefüge im Odenwald, Synorogenintrusionen in Spanien/Portugal; Amplatzgefüge am Montblanc-Protogin.

Das Problem der Wechselwirkung zwischen rheologischen und tektonischen Phänomenen wird in den „Beiträgen zur Tektonik von Fliessgefügen“ im Gelände sowie experimentell weiterverfolgt. Inzwischen ist schon erschienen der Beitrag II.

Abstract

Fabric of granite is controlled by flow into the place of consolidation and by external forces acting upon the cooling and crystallizing magma. These forces may survive the process of consolidation, so that between fixation of magmatic flow and metamorphic crystallisation all transitions of fabric might be found.

Peculiarities of flow will be explained and demonstrated by experimental methods. Influence of external forces will be shown by the following examples:

„Angleichgefüge“ of the Odenwald; synorogenic intrusions of Spain and Portugal; „Amplatzgefüge“ in the Protogine of Mont Blanc.

In the „Beiträge zur Tektonik von Fliessgefügen“ the problem of reciprocity between rheological and tectonical effects will be discussed basing upon the results of fieldwork and experimental methods. (Yet published: Beiträge II.)

Vorwort

Dass Laven fließen und bei der Erstarrung ein Fliessgefüge abbilden (können), ist evident. Dennoch gibt es Fälle, wo Texturen auch an Effusivgesteinen anders deutbar sind; selbst bei Obsidianen sind wir zu einer Erweiterung der Begriffsfassung gekommen, wie das Ignimbritproblem zeigt. Viel dringlicher aber ist die Abklärung des Fließens und Erstarrens der Tiefengesteine.

Granite hat noch niemand fließen sehen. Trotzdem können wir im Rahmen unserer petrologischen Vorstellungen aussagen, dass in manchen Fällen ein regelrechtes Fließen stattgefunden hat und bei der Erstarrung fixiert worden ist.

Die Schwierigkeiten beginnen mit der Abgrenzung zur metamorphen Texturprägung. Da die Platznahme der Tiefengesteine, insbesondere des Granits, von den bewegenden Kräften der umgebenden Gesteine abhängig ist, kann nie ausgeschlossen werden, dass der Rahmen den erstarrten Granit wesentlich überprägt hat. Die Kontroverse ist in der antithetischen Begriffsprägung *Granitgneis* (= nach der Erstarrung vergneister Granit) *Gneisgranit* (= bei der Erstarrung gneisartig gewordener Granit) erfasst, im Einzelfalle fehlen aber die entscheidenden Indizien.

Von der Theorie her gesehen ist eine Unterscheidung zwischen „magmatischem Fließen“ und „metamorpher Überprägung“ einfach, wenn nur *einer* der beiden Prozesse stattgefunden hat: Das *Fließen* sollte eine eindimensional gerichtete Textur parallel dem Strömungsfaden erzeugen, die *Überprägung* hingegen eine zweidimensionale „Schieferung“ mit Linearen quer zur Druckrichtung.

In Wirklichkeit ist es aber wahrscheinlicher, dass nur im Ausnahmefalle reines Fließen (in sich öffnende Räume hin) auftritt; in der Regel dürfen wir ein Hineingequetscht-Werden mit anschließender gleichgerichteter Verformung während der Erstarrungsperiode erwarten. Diese Verformung kann in eine „normale Vergneisung“ übergehen.

Damit ergeben sich für eine Diskussion die folgenden Gesichtspunkte:

1. Herausstellung sicherer Fließbewegungen in Graniten (CLOOS, 1925, 1928, 1933: Granittektonik).

2. Abklärung der Wechselbeziehung des Einströmens mit der Amplatzüberprägung (NICKEL, 1948—1962: Grenzfazies und Angleichsgefüge).
3. Erweiterung des Problems durch die kartierende Geologie (Beispiele Spanien und Portugal).
4. Nebeneinander von Zeugnissen des Einströmens und Erstarrens (Erfahrungen am Montblanc-Kristallin).
5. Nützung experimenteller Möglichkeiten (rheologische Modellversuche).

Fliesen und Erstarren im Granit

Trotz des grossen Meinungsspielraumes in der Granitkontroverse dürfte kein Zweifel daran sein, dass es aus der flüssigen Phase erstarrte Granite gibt und dass auch ein Teil *jener* Granite echt-flüssig war, die nicht als Endprodukte einer Differenziation anzusehen sind.

Zwar haben sich gegen gewisse vorschnelle Schlüsse, wonach die Paralleltexur der Granite als Fluidaltexur zu erklären ist, Bedenken erhoben (SANDER), aber die Paralleltexur ist ja nur *eines* der Phänomene, durch die ein Strömen fixiert werden kann. Man kann sogar sagen, dass die Rekonstruktion der Füllung einer Granitkuppel leichter erfolgt durch die Analyse der Schlierenbildung¹⁾, der Gesamtheit der granittektonischen Elemente, durch Aufweis der chemischen Verteilung usw. als durch die blosser Konstatierung der Paralleltexur.

Mit Recht sagt daher H. CLOOS (1928, S. 248):

„... geht mit Sicherheit hervor, dass die Schlierenbildung eine Bewegungserscheinung, eine Folge des Fliessens der Schmelze ist. Wie und in welcher Richtung floss die Schmelze? Wir betrachten die Anordnung der Fliessflächen und Fliesslinien. Längs der Massivwand (der Kontaktfläche) laufen die Fliesslinien ihr genau parallel und stehen mit ihr steil. Eine Ausnahme bilden nur die selteneren Gangschlieren, welche jene normalen und älteren Schlieren kreuzen und auch in das Nebengestein übertreten können. Die Fliesslinien liegen in den Flächen und zwar fast immer in deren steilster Neigung. Sie halten an dieser steilen Neigung auch fest, wo die Schlierenfläche gekrümmt, gewunden, gefaltet ist. Selten glauben wir

¹⁾ Schlieren hier als chemische (somit auch modale) Inhomogenitäten oder Markierungen im Gestein verstanden, einschliesslich solcher, die durch Auflösung von Fremdkörpern im Magma entstanden sind. Die Grenze zu Gängen wäre definitiv dort zu suchen, wo der „Gang“ sich nicht mehr durch das Einströmen verschleppen lässt. H. CLOOS (1928, S. 426) definiert: „Schlieren sind Ungleichmässigkeiten in der flüssigen Masse, die mit ihr fliesen, beim Fliessen ausgezogen werden und, erstarrt, die Art und Richtung des Fliessens im Augenblick der Erstarrung festhalten.“

beobachtet zu haben, dass die Fliesslinie nicht in der Fliessfläche liegt, dass also z. B. Hornblendenadeln oder dunkle Spindeln zwischen zwei steilen Schlierenblättern flacher liegen und windschief zu ihnen geneigt sind.

Geht man von der Wand ins Innere, so legen sich die Schlierenflächen allmählich flacher und formen Bögen, die nach oben gewölbt sind. Dieser Vorgang vollzieht sich in einer 2—6 km breiten Zone. Die Fliesslinien verflachen sich mit den Flächen. Schon 2—3 km von der Wand fallen beide vielleicht nur noch mit 10—15° nach aussen. Noch weiter innen lösen oder lockern sich die Schlierenlagen meist auf, setzen kurz ab und wechseln rasch und regellos ihre Richtung. Ein geschlossenes Gewölbe, wie im Riesengebirge bilden die Flächenschlieren (des Sierra Nevada-Massivs) nicht. Dagegen deutet sich in den *Fliesslinien* ein solches an. Dieselben liegen noch in den flacheren Flächenschlieren in der steilsten Neigung. Ihre Horizontalprojektion ... verläuft also quer ... zum Kontakt, eine solche lineare Querfaser ... scheint nun bis ins Innere fortzusetzen ...“

„... Einen ähnlichen Schlierenbau habe ich im schlesischen Riesengebirge als Ergebnis eines vertikalen, durch Reibung an den Kontakten verzögerten Schmelzaufstieges aufgefasst. Die Fliessflächen ... erfahren ihre Anordnung von der Dehnung, welche die aufquellende Masse erleidet, weil sie in der Mitte rascher steigt als an den Wänden.“

Man kann freilich durch diese Formulierung verleitet werden, den Schlierenbau direkt mit der durch die Mineralien erzeugten Paralleltextur zu vergleichen. Im Grenzfall wird das stimmen, dann nämlich, wenn die Kristallisation während des Einströmens beginnt und das Verhältnis von Druck und Viskosität so günstig liegt, dass die fixierten Gefüge nicht noch im erstarrten Gestein zu einem Amplatzgefüge umorientiert werden.

In diesem Sinne ist es also im Grenzfall zwar richtig, für die allgemeinen Fälle aber gefährlich, sich wie folgt zu äussern (CLOOS, 1928): „So entwickelt sich aus einem Fliessgefüge allmählich das, was wir Gneistextur nennen (Fluidaltextur geht in Protoklase, in Katakklase, vielleicht in Blastese über).“ Denn man könnte zu der Annahme verleitet werden, dass die Orientierung des Einströmens und die Orientierung am Platz übereinstimmen müssen.

Sofern die viskose Masse nach der Erstarrung ihre Schlieren, also die wichtigen primären Vorzeichnungen, verloren hat, bleibt die Paralleltextur vieldeutig. Die naheliegende gefügeanalytische Antwort, dass man metamorphe Texturen durch genauere symmetrologische Analyse und unter Heranziehung bekannter Indizien (vgl. SANDER, 1948, I, S. 193) methodisch klar abtrennen könne, ist unzutreffend, sobald (nach der Clooschen Definition) die metamorphe Überprägung der vorhandenen Fliesstextur symmetrologisch nachfährt.

Das eigentliche Problem besteht darin, dass zwischen dem Einströmen

und dem Verformtwerden ein breiter Spielraum besteht. Schon die Dehnung des Magmas bei der Hineinbeulung in den Rahmen kann texturale Auswirkungen haben, und die Verspannung des Rahmens ihrerseits kann dem „echt magmatisch kristallisierenden“ Granit das Aussehen eines Gneises geben. Darüber soll im nächsten Kapitel gesprochen werden. Wir werden uns *hier* an die prinzipiell klareren Fälle halten, von denen R. BALK (1937, S. 1) sagt:

„... most igneous rocks have internal structures from which the history and mechanism of movement — i. e. of the intrusion (or eruption) — can be reconstructed with a high degree of precision.“

Wie bemerkt, messen wir dem Schlierenbau unter Umständen mehr Bedeutung zu als der parallelen Anordnung anisometrischer Partikel im Magma (Kristalle, Fremdkörper). Nur in günstigen Fällen ist der Schlierenbau zugleich auch als die Paralleltextur angebbbar, so in der Oberpfalz, wo G. FISCHER (1957) die Kalifeldspatanordnung wie folgt beschreibt:

„... (Die Kalifeldspate) bilden hier kuppelartige Gewölbe von mehreren Metern Durchmesser. Im Zentrum der Kuppel liegen die Feldspate flach. Nach aussen nimmt die Neigung der Tafelflächen immer mehr zu, bis zu den schmalen Grenzonen zwischen den Kuppeln, in denen die Feldspattafeln annähernd senkrecht stehen und sehr dicht nebeneinander gepackt liegen. Diese Strukturen konnten sowohl in vertikalen als auch in horizontalen Anschnitten studiert werden. Auf den horizontalen Anschnitten ergibt sich ein umlaufendes Streichen der Feldspattafeln um die Kuppeln.“ — „... besteht grosse Ähnlichkeit mit ‚Konvektionssäulen‘ in einer Flüssigkeit mit dispersen Festbestandteilen. Vermutlich ist die Erscheinung in dieser Weise zu deuten.“

Das Gegenstück hierzu bilden die Verhältnisse am Montblanc-Kristallin. Hier fehlen (im sogenannten Protogin) die kleinräumigen Texturen; stattdessen gibt es grosszügige Schlieren granophyrischer Kristallisation, die wie grosse Tücher über Hunderte Meter flachbogig und mit gelegentlichen Kleinwellungen das Gestein durchziehen. Diese Schlierengewölbe verlaufen der durch die Kalifeldspate deutlichen Paralleltextur nur ungefähr parallel. Die Schlieren sind älter als die ungeschwänzten, tadellos „magmatisch entwickelten“ Feldspatzeilen, letztere muss man daher anders deuten, sie gehören nicht zum Fließgefüge.

Hier trifft also der Schluss von CLOOS nicht zu! H. CLOOS (1925, S. 29) sagt:

„Da an den Feldspaten keinerlei Formänderungen, wie Ausschwängung oder gar Zerquetschung usw. wahrzunehmen sind, so kann die Gleichrichtung aus-

schliesslich in einem Zustand grosser Mobilität erfolgt sein, und ist also insofern eine Fliesserscheinung. Hierfür ist auch die Beziehung zu den Schlieren sehr bezeichnend. Wo Blätter und Lagenschlieren mit dem Parallelgefüge zusammentreffen, gehen sie ausnahmslos parallel. D. h. also, die einzelnen Feldspäte legen sich zwischen die Schlierenblätter wie man Dominosteine in ein Buch legen kann.“ E. CLOOS verbessert dann (1936, S. 405) freilich, wenn er schreibt: „Die Schlieren nehmen eine Sonderstellung ein. Da sie das Fliessgefüge schneiden können, ist es somit möglich, dass sie unabhängige Anordnung besitzen. Das Yosemite-Profil zeigt mehrere Schlierendome ...“

Der Widerspruch ist ein scheinbarer: Schlieren können eben sowohl Fliesslinien wie Fliessfronten darstellen. Und darüber entscheidet allein der feldgeologische Zusammenhang!

Es zeigt sich also, dass wir in der Analyse noch nicht viel weiter sind, als es der „gesunde Menschenverstand“ als selbstverständlich nahelegt; ich zitiere hierzu wieder H. CLOOS (1933, S. 3):

„Der aktive Pluton: Die Masse bewegt sich im ganzen relativ zu ihrer Umgebung, und ihre Teile bewegen sich relativ zueinander. Gleichzeitig verändert sie ihren Zustand durch fortschreitende Kristallisation, seltener durch Neuverflüssigung. Die Masse kommt zum Stehen und ihre Substanz verfestigt sich. Diese Vorgänge können gleichzeitig oder nacheinander und in verschiedener Reihenfolge ablaufen. Je nach ihrem zeitlichen Verhältnis zueinander erhalten wir unterscheidbare Typen des plutonischen Baus ...

Bewegung vor der Kristallisation: Kommt die Masse zum Stehen bevor die Kristallisation beginnt, so können Bewegungen nur insoweit fixiert werden, als die Masse bereits im flüssigen Zustand heterogen war und ihre Teile durch die Gesamtbewegung eine bezeichnende Anordnung erhielten. Schlieren können zum Beispiel einen geordneten Bau zeigen, welcher gewisse Rückschlüsse auf die Bewegung gestattet. Die Kristalle dagegen kristallisieren in regelloser Lage, oder erfahren eine Regelung nur etwa durch Anpassung an die Isothermalen der Abkühlung, durch gravitative Seigerung und anderes. — Einige grosse, seichte Massen wie in Südafrika der Erongo und der Brandberg, oder in Skandinavien vielleicht die Rapakiwiplutone, sowie zahlreiche kleine, seichte Plutone wie Lakkolithen, Stöcke und so weiter, besonders die von basischer Zusammensetzung, scheinen hierher zu gehören.

Bewegung während der Kristallisation: Dauert die Bewegung während der Kristallisation fort, so kann sie in bekannter Weise von denjenigen Kristallen aufgezeichnet werden, welche gross und ungleichachsig genug sind, um unter dem Einfluss laminarer oder turbulenter Relativbewegungen eine geregelte Stellung einzunehmen. Fixiert wird die Stellung, welche sie im Augenblick des kinetischen Erlahmens zufällig innehatten. Meist fällt die Orientierung dieses primären, ‚fluidalen‘ Mineralparallelismus mit der Orientierung von Schlieren und anderen ungleichachsigen Einschlüssen oder Ausscheidungen zusammen. Der Parallelismus kann ein flächiger (Feldspäte, Glimmer usw.), oder ein linearer (Hornblenden) oder ein flächiger plus linearer sein (Titanite und Hornblenden zwischen Feldspat tafeln

und Schlieren usw.). Ein linearer Parallelismus beweist am sichersten, dass es sich nicht um eine statische Bildung handelt. — Solche Parallelt Texturen können im Gesamtpluton zu Parallelbauten höherer Ordnung, zu Gewölbebauten, zu Synklinal- oder Trichterbauten zusammentreten; oder sie können irgendwie anders, auch wirr, gelagert sein. Fliessgewölbe sind in grossen, sauren Plutonen besonders häufig. Entweder formt der ganze Pluton ein einziges, gewaltiges Fliessgewölbe, was grosse Zähigkeit andeutet (Riesengebirge), oder es ist aus mehreren Teilgewölben zusammengesetzt (Yosemite). Fliessrichter sind in basischen Plutonen nicht selten.

Viele grosse und zahllose kleine seichte Plutone bleiben in diesem Stadium stehen: die Erstarrung des Gesteins führt zwangsläufig zur Erlahmung der Gesamtbewegung (Peekskill). Die Ursache für den verschiedenen Bau so vieler saurer und basischer Massen kann in ihrer unterschiedlichen Viskosität liegen. Nur sehr zähe Massen — das waren die granitischen, wie ihr weitgespannter Fliessbau zeigt — können breite Gewölbe errichten und tragen, und schaffen sich dadurch Bahn nach oben, und sie können es grösstenteils nur auf diesem Wege. Nur relativ dünnflüssige Massen — und das waren die basischen, wiederum ausweislich ihres inneren Baus — können in die Fugen und Synklinalen der Kruste von unten einschlüpfen und die gegebenen und entstehenden Zwickel des bewegten Gebirges ausfüllen. Daher oft ihr Trichterbau.“

Bewegung nach der Kristallisation: ... Der Bruchbau folgt dem Fliessbau und durchsetzt und überarbeitet ihn mechanisch ... In grösseren Tiefen werden Tiefengesteine ... gneisähnlich. Je näher der Oberfläche, (um so mehr kommt man in den) Bereich der Granittektonik im engeren Sinne.

Wo die linearen Fliess Texturen steil stehen und sich Schlierendome (Dom an Dom; also *Dom neben Dom* oder auch *ein Dom in den anderen eingeschoben* wie in den grösseren Plutonen) klar abzeichnen, wird man ohne weiteres der nächstliegenden Interpretation nachkommen und die Texturen als Zeugen des Fliessens ansehen. Natürlich mit dem Vorbehalt einer klaren Definition dessen, was „Fliesen“ sein soll (SANDER, 1948, I, S. 185ff.). Aber wir haben ja ausdrücklich auf den Unterschied zwischen Fliesslinie und Fliessfront aufmerksam gemacht und werden dies bei der Beschreibung der Experimente noch wiederholen! Wo aber Texturen horizontal liegen und der Abschluss der Granitbildung nicht darin besteht, dass über den Zustand der Flexuren („latenten Brüche“) in die Bruchphase eingetreten wird, sondern hohe p, T-Bedingungen erhalten bleiben, erweitert sich die Fragestellung.

Nur das Experiment, das heisst der Modellversuch, gemeinsam mit der gefügekundlichen Klarstellung, kann hier weiterführen und uns zeigen, welche Probleme (beim Einguellen von Massen in sich öffnende Räume) zusätzlich zur „Granittektonik“ im engeren Sinne zu lösen sind. Solche Modellversuche darf man aber nicht mit von vorneherein *plastisch* reagierenden Substanzen (vgl. W. RIEDEL, 1929) durchführen, sondern muss das wirkliche Strömen viskoser Flüssigkeiten zugrunde legen.

Grenzfazies und Angleichgefüge

Wenn Granite nicht in einem passiven Behälter zur Ruhe kommen und kristallisieren, wird das Gefüge vom Rahmen her bestimmt: Synkinematische Granite sind in der Textur abhängig von der Einspannung. Demnach ist es falsch, von vorneherein anzunehmen, dass eine Gleichsinnigkeit der Paralleltexur im Granit und im Hüllgestein von einer gemeinsamen späteren Überprägung herrühren müsse; dies gilt, obwohl Gefügekundler diese Meinung gern vertreten werden:

„Auch in Graniten ... (mit flächigem Parallelgefüge) darf man Lineargefüge, welches mit Faltenachsen parallel läuft, nicht als eindeutig primäres Gefüge bezeichnen *und als solches weiterhin der Platznahme des Granites zuordnen*, wie man das im Schrifttum begegnet, entgegen der Wahrscheinlichkeit, dass jenes Lineargefüge B ist und also ein Amplatzgefüge ...“ (SANDER, 1948, I, S. 188).

Der Schritt von dieser sehr neutral formulierten Angabe bis dahin, dass also (*bei Nicht-Zuordnung des Gefüges zur Platznahme des Granites*) die übereinstimmende Regelung in Hülle und Granit einem *späteren gemeinsamen* Geschehen zukommt, ist sehr klein!

Ein Granit kann vollständig gneisartig entwickelt sein, ohne dass der Rahmen eine syn- oder postgranitische Durchbewegung erfahren hat. Tektonitbildung innerhalb eines schon konsolidierten Rahmens habe ich als „Angleichgefüge“ besprochen.

Selbstverständlich gibt es hier Übergänge: von der blossen Wirkung des „Einpressens“ magmatischer oder sonstwie mobiler Substrate zwischen festen Backen bis hin zur vergneisenden Neuprägung im erstarrten Produkt unter gleichzeitiger Belebung der Rahmentektonik! Beim Angleichgefüge ist aber immer der Textureffekt im Rahmen geringer als im kristallisierenden Magma; die Texturkoordinaten im kristallisierenden Magma sind denen des Rahmens angeglichen. *Solche „Granittektonik“ ist ein wichtiger und herausstellbarer Sonderfall: Gebirgs-wurzelnahe Granittektonik!*

An Flasergraniten des Odenwaldes lässt sich das Prinzip des Angleichgefüges beispielhaft vorführen (NICKEL, 1948—1962).

Die Granitintrusionen im (Bergsträsser) Odenwald erfolgen in ein vorgefaltetes Gebirge; während einer allgemeinen Erwärmung des tieferen Untergrundes bilden sich durch selektive Mobilisation aus Altbeständen und unter Zufuhr von Alkalien granitoide Schmelzen, die nach oben dringen und weitere Altbestände auflösen. Die schiefrigen Altbestände stehen durch die vorangegangene isoklinale Einfaltung wie Kulissen senkrecht zur Migmatitfront. Zweifellos hat während der Mo-

bilisierung seitlicher Stress gewirkt: Da die Räume nicht total aufgeschmolzen sind, werden die diatektisch gelockerten Bereiche zu Schwächezonen (zwischen den Kulissen), und in ihnen bildet sich eine Paralleltextrur parallel zu den schiefrigen Einheiten. Der Ausquetschungsdruck erfolgte quer zum Kulissenbau, und die „Flaserung“ der Granite zeigt im Gefügediagramm ein Maximum der Quarze quer zum Streichen der Flaserung. Hingegen sind eigentliche xz-Gürtel (Gürtelachse = Streichen der Flaserung) nur untergeordnet entwickelt und können durch Gürtel *in* der Flaserung (Gürtelachse quer zur Flaserung) abgelöst werden.

Je enger die Schieferkulissen zusammengeschoben sind, um so schiefziger ist die Flaserung entwickelt, hingegen kommt es in breiteren Räumen zur Ausbildung kuppelartiger Plutone mit umlaufender Paralleltextrur.

Die Regelung ist im Gefügebild viel unscheinbarer als die phänotypisch straffe Textur im Aufschlussbereich, ganz im Gegensatz zu Graniten, die alpinotyp auf einen Sockel aufgedrückt wurden und als „echt“ vergneiste Gesteine anstehen (Böllsteiner Odenwald).

Von Angleichsgefügen zu unterscheiden sind die Paralleltextruren, die sich durch Assimilation, das heisst durch Erhaltung einer alten Schieferung ergeben. Im *Bildungsbereich* der lithogenen „Magmen“ ist es schwer, zwischen erhaltener Assimilattextur und Angleichsgefügen zu unterscheiden; wo aber das Produkt intrusiv geworden ist, kann man die Angleichsgefüge abtrennen.

Die mit den Graniten zusammen vorkommenden Diorite sind ebenfalls, wie die Granite, Produkte einer ultrametamorphen Umkristallisation; man findet sie vielfach noch am Orte ihrer Entstehung vor (Amphibolit → Aorit → Diorit) und kann hier an geeigneten Stellen beobachten, wie zunächst die alte Paralleltextrur erhalten bleibt (durch die Mafite als Restgewebe markiert), wie dann aber ein konstruktives Neueinstellen der Paralleltextrur erreicht wird: nämlich durch Einspannung der Mobilisate in den Stress der noch intakten Edukte, die ihrerseits die Gesteintektonik der Schieferkulissen wiedergeben. Der Übergang, also der Umbau zum Diorit, erfolgt hierbei durch einen Wechsel vom polgeregelten Edukt (Messung von Quarz und Biotit) zum gürtelgeregelten Produkt.

Auch die Diorite verlassen also das unreife Stadium der Assimilatparalleltextrur und bilden schliesslich Angleichgefüge: Das schiefrige Gestein wird (über das Zwischenstadium eines massigen Gesteins) zum streifigen Gestein. — Im Kern von Dioritschollen sitzen oft massige Partien neben schiefrigen, den Rand der Scholle bilden streifige Abarten („Dioritgneise“). — Die aus dem Bildungsniveau nach oben abgewan-

derten Diorite und Gabbros (beide infolge Hornblendepoikiloblastese modal einander ähnlich werdend) zeigen daher keine schiefriegen Reste mehr, sie sind entweder (noch) massig oder (schon wieder) streifig.

An einigen Orten im Granit-Odenwald lässt sich die Flaserbildung näher gliedern. Die Sial-Massen waren in frühvaristischer Zeit lange mobil, sie säuberten nach und nach ihren Bildungsraum „nach oben zu“, bis sie zwischen nicht mehr assimilierten Altbeständen steckenblieben und nun, mit rückschreitender Migmatitfront, kristallisierten. — Hierbei erhielten sich Schollen: einmal vom Rahmen gelöst und innerhalb des Flasergranits isoliert, blieben solche Altbestände verschont und entgingen den auflockernden und injektionsfördernden Scherbewegungen. Solche Partien wurden in situ metablastisch regeneriert und sind fast im Flasergranit „verschwunden“, weil die Angleichung an die Flaserung gross ist. Was fehlt, sind lediglich die blastomylonitischen (intergranular-symplektitisch verheilenden) Rollungen des kristallisierenden, äusserst verunreinigten Granitbreis.

Endet der richtende Einfluss mit der Erstarrung, so hat man die typischen Flasergranite vor sich, bleibt die Einspannung so stark, dass auch noch *nach* der Erstarrung umkristallisiert wird, so erhält man Flaserrekristallisate und schliesslich „Flasergneise“. Die Gefüge der Flasergranite sind also dadurch entstanden, dass die von hoher Mobilität herkommenden Substrate mit beginnender Kristallisation eine (stets wieder regenerierte) Rollung der Minerale erleiden, bis schliesslich mit der Gesamtkristallisation eine letzte Phase fixiert wird. An typischen Flasergraniten sind die Kräfte, die den noch teilbeweglichen Brei gerade eben noch rollen und einschlichten können, zu schwach, um auch im *festen* Gestein noch konstruktiv zu wirken und eine echte Regional-metamorphose auszubilden.

Einen genauer bekannten Fall von Angleichsgefügen stellen die Injektions- und Mischgesteine am Rande zwischen Bergsträsser und Böllsteiner Odenwald dar: Bei Aschbach bilden alte Gneise Mischgesteine mit dem Trommgranit; die entstandenen Migmatite haben aber ihrerseits wiederum einen gneisartigen Charakter, obwohl nach der Trommgranitintrusion keine regionale Umprägung der Gesteine mehr stattgefunden hat. Da bei Aschbach die ganze Serie, von alten Gneisen angefangen bis hin zu den jüngsten Injektionen, gefügekundlich untersucht worden ist, kann man ins Detail gehen:

1. Es liegt eine prävaristische Vergneisung vor. Das metamorphe, lagige Gestein war vor den späteren Prägungen vermutlich überwiegend vom Typ der S-Tektonite.

2. Die Intrusion des Granits in die Gneise erfolgte während einer Bewegungsphase und erzeugte das Folgende:

- a) Im Granit Ausbildung einer Flaserung²⁾; Übergang vom Fließgefüge zum blastomylonitischen Amplatzgefüge (Tektonisierung beim Unterschreiten des Schmelzzustandes).
- b) Im Mischgestein bleibt das Lagengefüge erhalten; aber die Einzelkornorientierung erzeugt einen B-Tektonit-Gürtel von Biotit und Quarz. Stärkere Wellung der Paralleltextrur.
- c) Im intakten alten Gneis finden sich keine der Flaserung entsprechende Gefügekoordinaten: Die in Granit + Mischgestein wirkende Tektonik hat also die granitferneren Gneise *verschont* (nur leichte Entregelung der s-Flächen) und nicht zu einer regionalen Durchbewegung Anlass gegeben.
- d) Die an die Granitintrusion anschliessenden Injektionen sind noch entsprechend der Flaserung des Trommgranits geregelt; die letzten Nachschübe aber nicht mehr.

Der Granit selber ist also flasrig geworden; er ist jedoch kein metamorphes Gestein, randfernere Stellen sind texturfrei. Das Mischgestein zeigt einen kontinuierlichen Übergang zu typischer parakristalliner Ausbildung. Der intakte Gneis hat schliesslich das prägranitische Gefüge konserviert.

Ein weiteres Beispiel für die unterschiedliche Fixierung syntektonischer Platznahme bildet der Übergang innerhalb der auf der älteren geologischen Karte als „Hornblendegranit“ zusammengefassten Gesteine, also der Raum des Weschnitzplutons bis zum Hornblendegneis von Ostern:

- (I) In Plutonmitte „fluidaler Granodiorit“ (Kuppelbau).
- (II) Gegen die Ränder flasrig wie die umgebenden Granite.
- (III) Sodann übergehend in einen Gneis (Dachsberggneis).
- (IV) Die Gneise (III) liegen innerhalb beziehungsweise am Rande einer anders orientierten Gneisserie.

Vorgang: Alte Lagengneise (IV) mit einem klaren Gefügeplan (peripherer Plan der Hornblendegneisserie) können durch teilweise Anatexis

²⁾ Die der Hybridflaserung zukommenden Gefügemerkmale sind „diffuse Verteilung“ von Biotit- und Quarzmaxima mit einem Hauptmaximum in Richtung des Bergsträsser Zusammenschubes.

Die Bergsträsser Schiefer/Dioritzüge streichen NE, a c liegt also NW-SE, hier liegt auch das „Stossmaximum“. Dieses Maximum ist je nach der Stellung zur Faltenfläche als Maximum in a oder Maximum in c zu interpretieren.

dioritisch homogenisiert werden und liegen dann als „Hornblendegranite“ beziehungsweise korrekter als Granodiorite (I) vor. Der seitliche Übergang vom Anatexit (I) zum noch erhaltenen Gneis (IV) ist durch eine Gefügeneupprägung ausgezeichnet. Diese erfasst eine *breitere Zone, die teils zum Anatexit (II), teils zum Gneis (III)* gehört: Im Anatexit (II) kommt es zur Flaserung, einer diffusen, aber megaskopisch deutlichen Textur; sie ist bei abklingender Mobilität und unter fort-dauernden Bewegungen fixiert und steigert sich bis zu gneisartigen „Flaserrekristallisaten“; in den unmittelbar angrenzenden Gneisen (III) wird die alte Regelung umgebaut zu einer neuen homogenen Gneis-textur. Da die für (III) zutreffende Einregelung nicht auf den Gesamt-komplex der Gneise (IV) übergreift, liegt jedoch *keine* neue Regional-metamorphose vor: die Durchbewegung ist auf den gerade mobilen Streifen und seine Nachbarschaft beschränkt³⁾.

Es handelt sich jeweils um Amplatzgefüge, da auch die eventuell einstmals fluidalen Partien wegen des Fortdauerns der Bewegung schliesslich kristalloblastische Gewebe zeigen!

Die vorgenannten Beispiele von Hornblendegranit-Angleichgefügen zeigen auch, warum die seinerzeitige Studie den Titel „*Grenzfazies* und Angleichgefüge“ trug: Angleichgefüge sind Vermittler zwischen magmatischer und metamorpher Fazies!

Ich fasse zusammen: Angleichgefüge im engeren Sinne sind solche, bei denen der einspannende Rahmen dem kristallisierenden Magma (beziehungsweise ultrametamorphen Regenerat) eine Textur aufzwingt, ohne selbst merklich beansprucht zu werden. Im weiteren Sinne gehören dazu auch die metamorphen Texturen im Rahmen selbst, sofern sie sich auf den Grenzstreifen zum mobilen Substrat beschränken.

Eine Abfolge solcher vom Rahmen her induzierter Texturen wäre also:

1. Fluidaltextur als Einströmungsgefüge. — Sie geht über in
2. Flaserung als blastomylonitisch-pseudomagmatische Fixierung des Gefüges. — Anhaltende Bewegungen führen zur
3. Flaserrekristallisation (Gesteine mit kristalloblastisch überprägter Flaserung).
4. Vergneisung (später als die Platznahme).

Wie schon anfangs gesagt, fällt die passive Übernahme einer vorgegebenen Paralleltextur durch Assimilation ebensowenig unter die „An-

³⁾ Andere Beispiele: Das Neustadt- a. d. Mümling-Kristallin; manche Teilkuppeln im Schollenagglomerat. Bezüglich der Fortsetzung gegen den Spessart (Stengerts) siehe in der Arbeit „Grenzfazies“.

gleichgefüge“ wie das bloße Erhaltenbleiben alter Vorzeichnungen bei einer behutsamen Metablastese. Trotzdem ist die Abtrennung echter Angleichgefüge in den synorogen geprägten Wurzelpartien granitdurchtränkter Gebirge oft schwer, sofern die Produkte ihren Entstehungsort nicht verlassen haben. Intrusiv gewordene Magmen und Mobilisate hingegen erlauben leichter die Abtrennung der Texturpseudomorphie (nach Edukten) vom Angleichgefüge.

Syn- und posttektonische Granite in Spanien-Portugal

Zum Studium des Intrusionsmechanismus von Graniten und deren Verhalten nach der Platznahme eignen sich vorzüglich jene Granite NW-Spaniens, die in ihren mineralischen Komponenten zugleich kuppelartige Strukturen wie auch B-Deformationen abbilden.

So ist beispielsweise der Barbanza-Granit zu nennen, der im Raume der Halbinsel Noya von v. RAUMER (1962, 1963) näher bearbeitet worden ist. Dieser Granit wird von jüngeren granitischen Gesteinen, wie zum Beispiel dem Ribeiragranit, durchbrochen. Diese zeigen ihrerseits ebenfalls kuppelartige Strukturen, haben aber keine postintrusive Deformation mehr erlitten.

Betrachten wir zunächst die Verhältnisse am jungen Ribeira-Granit. Dieser Biotitgranit tritt auch in einzelnen isolierten Nestern bei Boiro und im Norden bei Moimenta auf. Besonders das letztere Vorkommen zeigt interessante Texturen und wird im folgenden mit dem Lokalnamen Moimentagranit bezeichnet. Die Granitkuppel im Hauptverbreitungsraume Ribeira hat einen durch die flächige Anordnung der Kalifeldspat tafeln markierten flachen Gewölbebau. Die Biotite zeigen die Textur weniger deutlich, folgen aber ungefähr den gleichen Texturflächen. Das Granitmassiv ist, von Verwerfungen abgesehen, durch keinerlei spätere tektonische Einwirkungen gestört. Man muss seine Texturausbildung als Fixierung des Einströmens in die (jetzige) Kuppel ansprechen. Trotzdem liegt natürlich kein Fließgefüge in *dem* Sinne vor, dass die Feldspate etwa den Fließfäden folgen; vielmehr stellen sich die Feldspate parallel den „inneren Oberflächen“ des einquellenden Substrates. Zweifellos bilden die Feldspate das Einströmen ab, aber wann sie sich gebildet haben, ist damit nicht entschieden, es kann sich trotz allem um ein Amplatzgefüge handeln!

Verlängert man die kuppelartigen Texturen gegen Norden, dort, wo die Kuppel unter Glimmerschiefer abtaucht, so ergeben sich die lokalen

Vorkommen von Boiro zwanglos als Ausstülpungen des Plutons von unterhalb des Daches her. Das gleiche gilt für die in der Ría de Arosa liegenden Inseln. Das Vorkommen von Moimenta schliesslich, relativ massig entwickelt, enthält NS-verlaufende, vertikale Zonen mit Kalifeldspaten, die ein vertikal fallendes Linear besitzen. Die Zonen finden sich als mehr oder weniger scharf begrenzte „Tapeten“ im Gestein und müssen als späte Bildungen im Granit verstanden werden, etwa so, dass sich spannungsentlastende Fugen bei der Endphase der Konsolidierung mit endoblastischen Grosskristallen versehen haben.

Im Gegensatz zu den vorgenannten eugranitischen Gesteinen, die auch chemisch genau in das (von MEHNERT 1959 neu definierte) eutektische „Loch“ passen, steht der ältere Barbanzagravit. Er ist unscheinbarer, schlechter aufgeschlossen und macht einen mehr gneisartigen Eindruck.

Auch in ihm zeigen die Feldspate eine kuppelförmige Anordnung, aber der Biotit ist anders eingeregelt als bei den jüngeren Graniten: Hier bildet er nämlich eine annähernd vertikale, leicht fächerförmige Paralleltexur. Das Dach des Barbanzaplutons ist nur teilweise abgetragen. Die überlagernden Glimmerschiefer ziehen in NW-SE-Zonen über das Gebiet und sind als Reste eines aufliegenden und in dieser Richtung prägranitisch gefalteten Gebirges aufzufassen⁴⁾. Die Biotitanordnung geht diesen auflagernden Falten konform: Die Biotite stehen vertikal in Richtung der Faltenachsen des auflagernden Gebirges.

Gäbe es keinen Kuppelbau, so würde man ohne weiteres von einem Granitgneis sprechen, der zusammen mit seinem Dach oder zumindest konform mit seinem Dach in metamorphe Fazies überführt worden ist. Dies zumal auch die Quarze von späteren Einwirkungen her regelungsgeprägt sind. — Ohne weiteres könnte man mit der Gneis-Hypothese auch erklären, dass die Xenolithe im Granit gemäss der allgemeinen nordwestlichen Faltenachse eingeregelt sind und dass grössere metamorphe Komplexe eine Feinfältelung in der gleichen Richtung haben.

Bei näherem Zusehen aber gewinnt man den Eindruck, dass Eingeregung und Angleichung der Xenolithen besser in Zusammenhang mit dem Intrusionsmechanismus zu bringen ist, zumal auch die kuppelförmig angeordneten Kalifeldspate einer leichten Wellung nach der gleichen Faltenachse nachkommen. Man kann annehmen, dass der Granit wech-

⁴⁾ In manchen Teilen des auflagernden oder sich zwischenschaltenden Metamorphikums gibt sich auch noch eine weitere, annähernd NNW-SSE ziehende Faltenachse zu erkennen, die noch älter ist als die vorgenannte NW-Richtung.

selseitig vom Rahmen her eine tektonische Einspannung erfährt und seinerseits dem Rahmen hinsichtlich der vorgegebenen NW-Richtung eine stärkere Akzentuierung verleiht, durch welche die noch ältere B-Richtung an Bedeutung verliert oder ganz unterdrückt wird. Während die Biotite die tektonische Einspannung markieren, lassen sich die Feldspate in ihrem Gewölbebau nur leicht beeinflussen. Die Feldspatkuppel bildet die Einströmungsfront ab, die leichten Wellungen sind tektonogen erzeugt.

Vom Intrusionsakt und dem Angleichgefüge lassen sich gut die späteren destruktiven Vorgänge, die zugleich mit der Gangbildungsperiode zusammenfallen, abtrennen.

In Portugal haben SCHERMERHORN (1959, 1962) und OEN ING SON (1958) innerhalb junger Granite umlaufende Texturen auskartiert, durch die schlotartige Gebilde herauspräpariert werden. In manchen Teilen solcher Plutone, hier als Beispiel das Alva-Massiv, ist die durch die Feldspate markierte Textur dem Kontakt parallel und *umlaufend*, mit hin also streckenweise quer zum allgemeinen Nordweststreichen. In anderen Bereichen strebt die Paralleltextrur senkrecht auf den Kontakt zu. Sie endet in diesem Falle senkrecht zur Grenze mit den Schiefen, jedoch in Fortsetzung der Textur des benachbarten Castro-Daire-Granits. Obwohl das schlotartige, kreisrunde Gebilde sicher durch Einströmen gebildet worden ist, muss demnach die Paralleltextrur ein Amplatzgefüge sein, gegebenenfalls kombiniert mit Elementen, die durch ein gravitatives Aufsteigen der Kalifeldspate innerhalb der röhrenförmigen Wände entstanden sind⁵⁾.

Erfahrungen im Montblanc-Massiv

Das Montblanc-Massiv gehört zu den sogenannten autochthonen Massiven des Alpenbaus, ist also prävaristisch gebildet, varistisch geprägt und alpidisch verstellt, wobei es offenbar als Ganzes gequetscht und gehoben worden ist. Gegen die Hülle hat der Kerngranit („Protogin“)

⁵⁾ Betr. das Aufsteigen von Kristallen nach Platznahme eines Granit vgl. die Diskussion bei den Experimenten (Umgiessen von Glycose in einen Eimer). Die Gesamtdeutung wird dadurch bestärkt, dass sich, wie Kontrollbegehungen ergaben, wellige Spezialgefüge innerhalb der generell umlaufenden Texturen erkennen lassen. — Dass es sich im ganzen eher um ein Amplatzgefüge handelt, beweist schliesslich die Beobachtung, dass in diesem besonderen Falle nur die Kalifeldspate die Orientierung zeigen, nicht aber die Plagioklase und der Biotit. — Die vertikalen Feldspattapeten sind hier wie auch in Nordspanien spätere metasomatische Bildungen.

einen Injektionskontakt, dessen Analyse aber dadurch erschwert wird, dass gegebenenfalls auch prägranitische Migmatisierungen stattgefunden haben. Da der mineralisatorenreiche Granit (Turmalin, Molybdänglanz) in der Lage war, in ihm eingeschlossene Amphibolite dioritisch umzukristallisieren, hat man keine Handhabe, die randlichen Migmatite, wie zum Beispiel am Mont Dolent, sicher als prägranitisch abzutrennen; eine regionale Durchwärmung scheint allgemein zu einer Kornvergrößerung in den Hüllgesteinen geführt zu haben. — Schliesslich sind an der Südostflanke postgranitische Quarzporphyre im Grenzbereich eingedrungen (Zone von Courmayeur bis Sembrancher). Diese Zone ist zugleich die Gleitunterlage der über das Massiv abschiebenden Wildhorndecke.

Die Stellung des Granits relativ zur präalpidischen Tektonik, um die sich OULIANOFF (1926—1960) gekümmert hat, ist daher nicht leicht zu entziffern; unser Institut wird hier versuchen, die petrologische Situation weiter zu klären. Mein Mitarbeiter v. RAUMER (1963) hat über eine Abtrennung von Fliesstexturen und tektonischen Elementen an den Quarzporphyren publiziert; weitere Erfahrungen brachte uns das Trient-Massiv.

Die ursprüngliche Fließrichtung in den Porphyren ist festgelegt durch die Art, wie die Einsprenglingsquarze in Verbindung mit granophyrischen Schlieren stehen; was an Tektonik hinzukommt, muss alpidisch sein. (Durch Eliminierung der alpidischen Elemente lässt sich also der varistische Anteil im Massiv abtrennen.) Das Fließen in den Quarzporphyren erfolgte in beliebigen Richtungen schräg zur heutigen Vertikalstellung, was mehr auf Ausquetschung als auf aktive Platznahme hinweisen könnte.

Der sogenannte Protogin selbst ist ein Granit, der an den Rändern fein- bis normalkörnig entwickelt ist, im Innern aber eine typische, im grossen und ganzen horizontalwellige Paralleltextur hat; die grossen einsprenglingsartigen Kalifeldspate stehen vielfach N-S, was OULIANOFF mit der Richtung eines alten Faltenbaus in Zusammenhang bringt, teils (so im Trient-Massiv) drehen sie in nordöstliche Richtung, also parallel der Längsrichtung des Massivs. Blickt man auf eine Wand, die im Streichen liegt, so sieht man ein ausgezeichnetes Zeilengefüge. Wände quer zum Streichen zeigen einen grosswelligen Bau. Vorliegende detaillierte Profile erlauben eine Interpretation im Sinne von tektonisch induzierten Angleichgefügen; hierüber wird v. RAUMER publizieren.

Bereits DUPARC und MRAZEC (1898) haben das Massiv petrographisch gegliedert. Nach ihnen sind die gneisigen Abarten verdaute Reste des

gefalteten Daches, denn in Gneistypen finden sich eingeschlossene Glimmerschiefer, und es gibt „seitliche Übergänge zwischen Einschlüssen und Protogin“. Vorsichtigerweise trennen aber die Autoren davon eine pegmatoide Variante ab: diese ist ebenfalls paralleltexturiert, aber man kann keine substantielle Hybridisierung feststellen. Das Problem liegt bei *diesen* Abarten, nicht bei den Assimilaten, denn über letztere gibt es keinen Zweifel an der Entstehung. — Die Frage ist aber die: Durch welchen Vorgang sind die pegmatoiden Abarten, also die auffälligen grobkörnigen, homogenen, nichtkontaminierten Granitvarianten paralleltexturiert? Schon DUPARC und MRAZEC glauben nicht, dass man diese Frage durch den Hinweis auf eine postgranitische Tektonik erledigen kann.

Es liegen aber im Niveau des pegmatoiden Protogins *nicht* die Phantome ehemaliger Falten des Daches vor: der durch die Kalifeldspate markierte Faltenbau kann zwar die von aussen auferlegte tektonische Einspannung widerspiegeln, aber er tut dies (was die wirklich „pegmatoide Ausbildung“ betrifft!) nicht durch Verdauung hineingeratenen Sedimentmaterials, sondern dadurch, dass im Abschlussstadium der normalen granitischen Kristallisation die tektonische Einspannung (begünstigt natürlich durch Kulissen von Rahmengesteinen innerhalb des Granites) in der Feldspatregel abgebildet wird. Das Gefüge ist am Platz gebildet worden, es hat weder etwas mit späterer Vergneisung noch mit primärem Einströmen zu tun. Als Zeugen der Platznahme haben wir (wie schon am Anfang der Arbeit erwähnt), die grossen, flachwelligen Schlieren. Sie sind ein Beweis dafür, dass nicht etwa verschwundene Schiefer die Paralleltexur bestimmen; denn die Bildung solcher Kuppel-schlieren“ setzt ein *vor* der Kristallisation homogenflüssiges Material voraus! Für die Feldspate sind solche Schlierenvorzeichnungen mehr oder weniger mechanisch unwirksam. Ihr Gefüge entwickelt sich unabhängig vom Schlierenbau, die Feldspatzeilen durchschneiden die Schlierengewölbe. Hier ist v. RAUMER um weitere Klärung bemüht. Vor allem muss der wellblechartige Wechsel von normalgranitischer und pegmatoider (+ gneisiger) Abart sichergestellt werden.

Da alpidische und präalpidische Faltung divergieren (OULIANOFF), sind die älteren Versuche (schon VALLOT!), das Massiv bzw. das Dach des Granits in Syn- und Antiklinalregionen zu unterteilen, zweideutig. Auch DUPARC' und MRAZEC'S Zonenabfolge bleibt aus dem gleichen Grunde unklar.

Hingegen bemüht sich neuerdings die Innsbrucker Schule unter den klaren Gesichtspunkten der Gefügeanalyse um die Entzifferung des Montblanc-Massivs. In bezug auf unsere rheologischen Probleme ergeben sich zwar nur indirekte Berührungspunkte, aber es ist interessant, der genetischen Meinungsbildung in den beiden vorliegenden vorläufigen Mitteilungen von F. PURTSCHELLER (1961 a, b) nach-

zugehen. Die Arbeiten befassen sich mit der Zuordnung des Korngefüges von Quarz und Glimmer zu den Klüften und der dadurch bedingten Morphologie. Man kann dort also keine Antwort auf die Frage erwarten, ob die Kalifeldspatregelung in den pegmatoiden Typen einem Angleichgefüge entspricht, aber verallgemeinernd und im Hinblick auf in Aussicht gestellte Arbeiten spricht PURTSCHELLER: „Alle Granittypen weisen einen mehr oder weniger deutlich metamorphen Charakter auf.“ PURTSCHELLERS Hinweis auf Ähnlichkeiten zu manchen Tauerngraniten lässt vermuten, er sei der Ansicht, die Überprägung wäre zwar allgegenwärtig gewesen, aber doch so mässig, dass ältere Phasen nicht ausgelöscht sind. Bei gegebener Überprägung ist es evident, dass sich „im Dünnschliff die Kalifeldspate als neugebildete meist stark perthitisierte Mikroklino“ erweisen, aber es ist damit noch nicht entschieden, ob auch die megaskopisch deutliche Regelung der Kalifeldspatgrosskristalle von dieser Überprägung herrührt. Sollte PURTSCHELLER aber der Ansicht sein, auch der Zeilenbau als solcher sei eine postintrusive Bildung, dann würden sich unsere Auffassungen decken.

Was einer Abklärung aber noch bedarf, ist folgendes: Nach PURTSCHELLER ist die Bildung des Granits „durch Auftreten von Migmatitfronten und weitgehende Umkristallisationen des primären Gefüges erfolgt, wobei einzelne Reste des alten Gefüges noch erhalten geblieben sind“. PURTSCHELLER beobachtet, dass Granitfinger in den Hüllgneis hineingreifen und einen Migmatitkontakt ausbilden. Hüllgneise, Migmatite und Granite haben die gleiche Texturorientierung. — Hieraus wird man zunächst schliessen, dass eine Einschlichtung später als die Granitplatznahme erfolgt ist. Diese Einschlichtung könnte alpidisch sein und wird sich dem vorgegebenen Schiefer-s anpassen. Da nach unseren Beobachtungen der wirklich zentrale Granit in seinen jetzigen Raum *eingeströmt* ist, müsste zwischen dem einströmenden Anteil und dem bloss am Ort umkristallisierten Anteil eine „Grenze“ sein, und damit wäre auch noch nicht entschieden, ob ein Teil der Migmatite einem älteren Bildungsprozess angehört. Jedenfalls muss unseres Erachtens die Platznahme von *den* Teilen des Granites her diskutiert werden, wo dieser Granit als echtes Intrusivgestein zur Erstarrung kam und sich nicht bloss „durch weitgehende Umkristallisation von primären Gefügen *gebildet*“ hat. Aus was für primären Gefügen hat sich denn der Granit gebildet? Die Granitisierung peripherer Altbestände ist erst in zweiter Linie heranzuziehen; und ob der Granit in der Tiefe durch Aufschmelzung entstanden ist, das kann offen bleiben. Es würde die Beobachtungen überfordern, ihn an Ort und Stelle entstehen zu lassen.

In der Vorstellung PURTSCHELLERS geht, wenn man seine vorläufige Mitteilung recht versteht, die migmatische Granitisierung direkt über in eine metamorphosierende Phase. Wir hingegen meinen, dass der Granit während seiner Intrusion weitgehend flüssig war, und dass hernach erst ein (durch die Einspannung in den tektonischen Rahmen bedingtes) Amplatzgefüge entstanden ist. Für uns hat also der Begriff Amplatzgefüge eine besondere Bedeutung, für uns liegt das Problem in der Clooschen Granittektonik *an einer Grenze*; und die Spezifizierung als „Angleichgefüge“ entfiel, wenn das Substrat nie durch den flüssigen Zustand hindurchgegangen wäre.

Es ist sehr zu begrüßen, dass wir durch die tektonische Entzifferung im Sinne der Sanderschen Gefügekunde eine bessere Basis bekommen für unsere Überlegungen zur Fliesstextur. Sicher werden die rheologischen Gesichtspunkte mit den gefügekundlichen Argumenten am konkreten Objekt zusammenstimmen.

Aufs Ganze gesehen ist der Montblanc-Granit eine Beule in verfalteten Gneisen, zwar durch eine späte Tektonik gehoben und verschoben, aber offenbar nicht wesentlich aus der ursprünglichen Lage herausgekippt. Das Vorhandensein von Migmatiten, die eventuell prägranitisch sind, sowie von postgranitischen Extrusiva, scheint auf persistierende Regenerations- und Aufschmelzungsräume hinzudeuten. — Das Problem der Erstarrungstexturen ist unabhängig von der prinzipiellen Einstellung des Forschers zur Magmenbildung, denn im erschlossenen Niveau ist der Granit intrusiv. Die im Granit verschwindenden Rahmengesteine führen zu basischeren Abarten innerhalb des homogenen Plutons. Soviel der Granit sein Dach auch angefressen haben mag, er selbst stammt substantiell nicht aus diesem Bereich, sondern ist in den heutigen Rahmen eingedrungen. Eine statische Erklärung, etwa im Sinne einer blossen Aufweichung, kommt daher nicht in Betracht. — Wenn DUPARC und MRAZEC Übergänge zwischen der gneisig-porphyrartigen und der pegmatoiden Abart festgestellt haben, dann sind diese Übergänge durchaus zu erwarten und nach unserer Vorstellung als Angleichgefüge zu kennzeichnen.

Hier wird man SANDER (1948) recht geben müssen, dass die Paralleltexturen in Graniten zumeist als Amplatzgefüge zu deuten sind, denn obwohl der Montblanc-Granit offenbar genügend Aktivität und Raum hatte, um unter Ausbeulung des kristallinen Rahmens „einzuströmen“, und obwohl es während der Erstarrung keine grösseren „Ausquetschungen“ gegeben hat, genügte die tektonische Einspannung, um — ohne Zerstörung von Einströmungsvorzeichnungen — einen B-orientierten Zeilenbau der Grosskristalle zu erzeugen.

Das Experiment

a) Vorbemerkungen

CLOOS hat mit Tonsuspensionen und Paraffin gearbeitet und zeigen können, wie sich tektonische Elemente modellmässig nachahmen lassen. Bessere Übertragbarkeit magmatischen Fliessens erhält man zweifellos durch Verwendung viskoser Flüssigkeiten, deren Einströmen rheologisch verfolgt werden kann. Wir sind bestrebt, die Versuche bis dorthin auszubauen, wo die viskose Flüssigkeit auch noch während des Experimentes kristallisiert, beziehungsweise wo in der viskosen Flüssigkeit Kristalle zu wachsen anfangen.

Das Studium der rheologischen Effekte beim hydraulischen Einpressen der Flüssigkeiten in ein Vorgelege dient zunächst der Anpas-

sung an die geologischen Vorgänge. Die Ausgangsapparatur zeigt Fig. 1; hier muss also noch geduldig weiter ausgebaut werden. — Wenn jetzt schon einiges über die Versuchsserien gesagt wird, dann deshalb, weil wir unabhängig davon die vergleichenden Geländestudien fortgeführt haben und wir den Beiträgen zur Tektonik von Fliessgefügen gern einige prinzipielle Bemerkungen und experimentelle Vergewisserungen voransetzen möchten⁶⁾.

Die Viskositäten, mit denen man zu rechnen hat, liegen bei 10^6 cP. Wo strukturviskose Stoffe verwendet werden, wird man sich mit Relativwerten (T, t-Kurven etc.) begnügen. Einströmungsschübe kann man durch einen Wechsel der Temperatur während des Experiments erzwingen. Zum Experiment müssen jeweils ca. 50 kg Substanz angesetzt werden. Die Glucose, von der nachstehend die einfachsten Beziehungen demonstriert werden und die als fast klar durchscheinende Masse für Bäckereien geliefert wird, hat den Vorteil gänzlicher chemischer Inaggressivität und den, dass man die Apparaturen leicht reinigen kann.

Die unvermeidlichen Luftblasen (beim Einfüllen) werden beim Fliesen verzerrt und stellen die Spannungsellipsoide an der betreffenden Stelle dar. Spuren von Öl markieren Einströmungsglocken und internen Kuppelbau, hineingestreute anisometrische Festkörper lassen die Relation zwischen Spannungsfeld und Einregelungsmechanismus erkennen (vgl. Fig. 2). Der Experimentator kann das Einströmen bremsen und beschleunigen sowie die Richtung des Einströmens variieren (Einströmen nach oben, nach der Seite usw.). Er kann Querschnittsveränderungen studieren und so jene kritische Viskosität ermitteln, bei der die Einregelung von Festkörpern merklich wird. Bei zu hohen Viskositäten verbleiben die Festkörper unregelmäßig im Stromfluss fixiert. Schliesslich sind auch die Einregelungen durch Auftrieb interessant. — Endziel der Untersuchungen ist, ob und bei welchen Bedingungen tektonische a-Regelungen in tektonische b-Regelungen übergehen. Gibt es Granitgneise und Gneisgranite oder gibt es noch ein Drittes?

Der Schweizerische Nationalfonds, der es uns ermöglicht hat, derartige experimentelle Studien zu beginnen, wird uns freundlicherweise auch weiterhin unterstützen. Es sei hier die Gelegenheit ergriffen, ihm dafür zu danken.

Zu den Versuchen nun einige Details, um die grundlegenden Phänomene zu zeigen.

⁶⁾ Vorliegende Arbeit ist also der erste Beitrag zur *Tektonik von Fliessgefügen*. Der zweite Beitrag von RAUMER ist inzwischen erschienen im Festband Lotze (1963).

Fig. 1. Grundkörper der hydraulischen Anlage mit einem der Vorgelege. Die Zylinder an der Presse selbst sind aus Eisen oder durchsichtigem Kunststoff. Der Schlauch der unteren Abführung ist abschnittsweise mit durchsichtigen Segmenten versehen. Die Vorgelege sind an einem Flaschenzug beweglich gelagerte Kunststoffzylinder, bzw. durch Zwischenringe verlängerbare Zylinderstücke. Da sie bis 5 Atü vertragen, kann man das Einströmen auch unter Druck vornehmen lassen. Die Zylinderelemente lassen sich durch Heizbänder erwärmen.

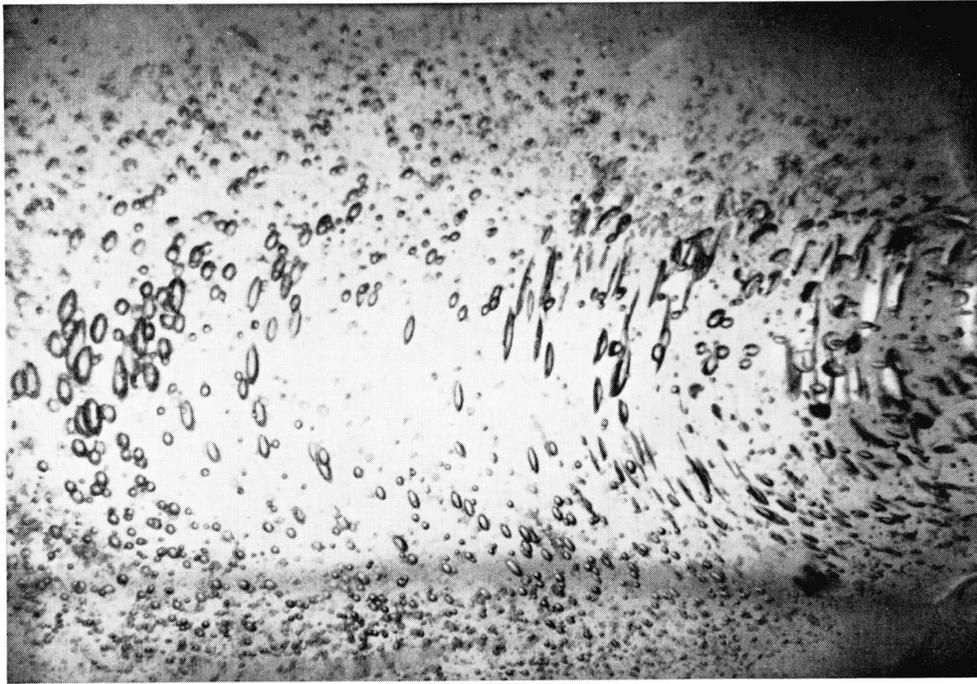
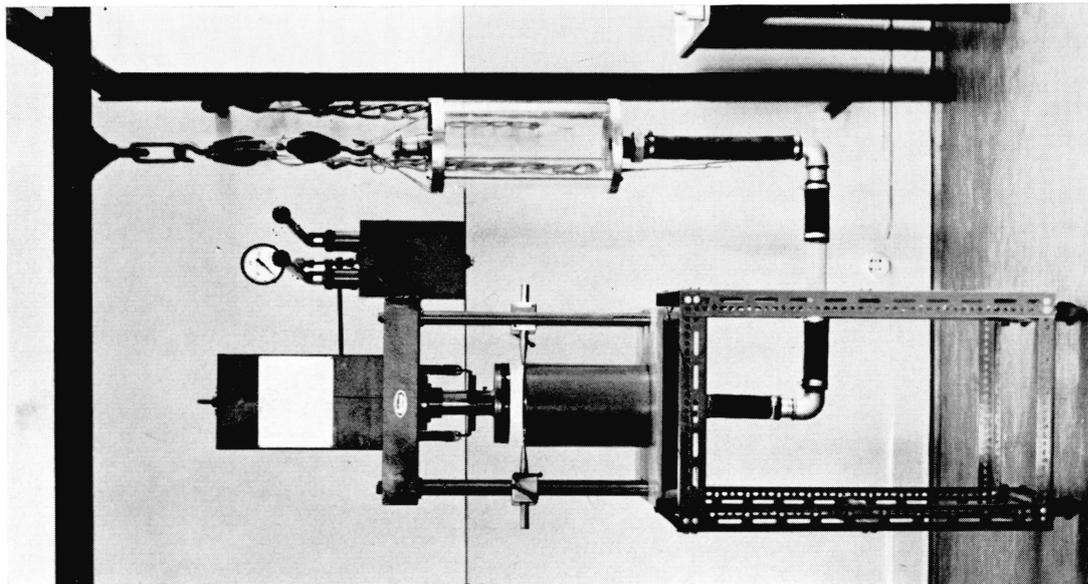


Fig. 2. Einfachster Fall des Einströmens: Das Schlierengewölbe ist gleich der Bläschenkuppe (Glucose, keine Festkörper in der Flüssigkeit).



Fig. 4a und b. Einströmungsgefüge: Links (Fig. 4a) sich quer zur Strömungsrichtung, die von unten nach oben verläuft, einrichtende Stäbchen; rechts (Fig. 4b) Umschwenken der Stäbchen in Strömungsrichtung beim Überquellen des Zylinders an der oberen Öffnung.

b) Versuche mit Glucose

Die prinzipielle Ausgangssituation aller Experimente sei an Versuchen demonstriert, die das Verhalten der Glucose (Viskosität $1-10 \cdot 10^6$ [cP]) betrifft.

Lässt man die Substanz (von unten her) in den Zylinder einströmen, so sind zu unterscheiden:

1. Spannungsanzeigende Elemente (Deformation der Bläschen).
2. Strömungsmarkierende Elemente.
 - a) Anlage der Schlieren,
 - b) Anordnung anisometrischer Festkörper.

Die beim Einfüllen der Glucose in die Vorlage unvermeidlich entstehenden Luftbläschen verzerren sich während des anschliessenden Fliessens; bei Druckentlastung oder Stillstand des Fliessens werden die Bläschen sofort wieder rund. — Hingegen bleibt die Schlierenanlage erhalten, und zwar noch besser als die Textur der anisometrischen Festkörper. Denn die Textur wird dadurch wieder undeutlich, weil die (zähflüssig bleibende) Glucose einen langsamen Auftrieb der Teilchen nicht verhindert. Da in wirklichen Gesteinsschmelzen Feldspate ebenfalls aufsteigen können, ist es bei sehr guten, sozusagen „starren“ Regelungen von vorneherein wahrscheinlich, dass nicht die (frühen) Einströmungsgefüge, sondern die (späteren) Amplatzgefüge fixiert sind.

Zur Bläschendeformation

Bei druckloser, „isostatischer“ Überführung der Glucose vom Vorlege in den zweiten Zylinder bleiben die Bläschen rund, erst bei Überführung durch Druck deformieren sich die Bläschen.

a) Im Zuführungsrohr entstehende kaulquappenähnliche Gebilde, deren Köpfe (wegen des schnelleren Fliessens in Rohrmitte) zur Rohrmitte streben, während die zurückbleibenden Schwänze gegen die Rohrwand tendieren. Bei höherer Fliessgeschwindigkeit entarten die Blasen zu stromparallelen, fadenförmigen Gebilden.

b) Im Zylinder verbreitern sich die Kaulquappenköpfe zu flachen Scheiben, die sich kuppelförmig anordnen, also die „inneren Einströmungsoberflächen“ abbilden. Die Schwänze aus dem Zuführungsrohr verschwinden ganz. Mit steigendem Niveau hebt sich der Kuppelbau, und es bleiben dahinter (also unterhalb) die langsam isometrisch werdenden Kaulquappenblasen auch noch im Zylinder erhalten. — Die Verhältnisse ändern sich nicht, wenn das Einströmen in einen (oben)

geschlossenen Zylinder erzwungen wird, also unter Steigerung des Binnendruckes. — Beim Einströmen gegen eine verschiebliche, belastende Stahlplatte wird die Kuppel lediglich flacher entwickelt.

Zur Schlierenanlage

Die Schlieren bleiben auch nach Aufhören des Fließens und bei Druckentlastung erhalten. Sofern sich Bläschen zu linearen Bläschenzügen in Fließrichtung beziehungsweise zu flächigen Bläschenaggregaten senkrecht zur Fließrichtung aneinanderreihen, gehören auch diese Bläschensysteme zum Schlierenbau. Meist aber handelt es sich bei dem hier zu diskutierenden Schlierenbau um Vorzeichnungen infolge von Verunreinigungen oder zugesetzten Ölspurens, beziehungsweise um Effekte an der Grenze verschieden schnell gleitender Partien in der Glucose. Diese Diskontinuitäten können durch strukturelle Inhomogenitäten im Zucker selbst bedingt sein (und durch das Fließen verstärkt werden) oder aber durch Fremdeinlagerungen (Ölspurens!) ausgelöst werden.

Im Zuführungsrohr sind Schlieren nicht zu erkennen, beim Eintritt in den Zylinder aber bildet sich sofort eine zwiebelschalige Abfolge von „Gewölben“ aus. Teilweise markieren die Bläschenscheiben (siehe oben!) diese Gewölbe, aber es gibt zusätzliche, ebenfalls axialsymmetrisch

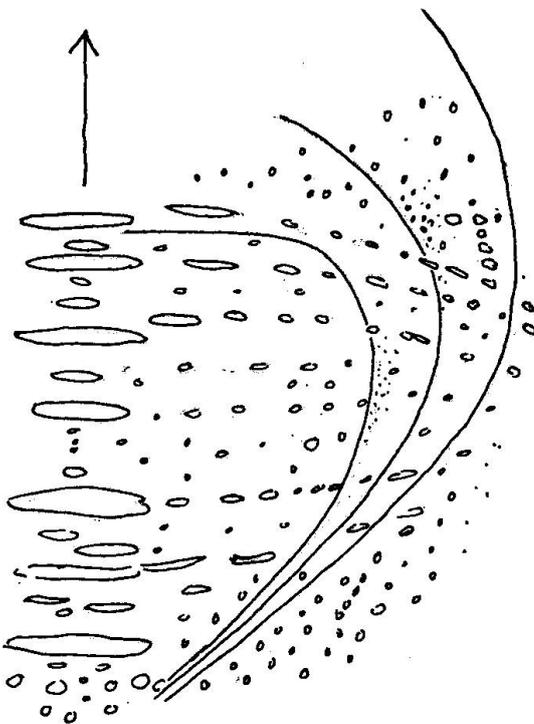


Fig. 3. Glockenartige Schlieren (ausgezogene Linien) durchschneiden die durch deformierte Bläschen fixierte „innere Oberfläche“ der Einströmungskuppel. Pfeil nach oben = Einströmungsrichtung. (Gezeichnet ist die halbe Kuppel).

zum Einströmen angeordnete Schlieren, die einen grösseren Radius haben als die durch die Bläschen angedeuteten Gewölbe. Diese zusätzlichen Schlieren öffnen sich wie die Kelchblätter einer Blüte gegen die Einströmungsrichtung (Fig. 3).

Zum *Schlierengewölbe* vergleiche man die Diskussion von CLOOS betreffend der *Schlierenblätter*. Solche Schlieren ziehen sich (entsprechend dem Hineinquellen des Magmas) quer zum generellen Einströmen auseinander: Das, was CLOOS die „örtliche Fliessrichtung“ an der Schliere nennt oder (korrekter gesagt) die Relativbewegungen der Teilchen gegeneinander, ist zwar schlierenparallel, aber der Nachschub des Materials, das Voranrücken der Kuppel, erfolgt senkrecht zum Auseinandergleiten der Schlieren. — Je mehr man sich der Strömungsachse nähert, um so weniger gibt es Schlierenblätter, um so deutlicher Fliessfäden.

Von den evidenten, trichterförmigen Schlieren, wie sie sich beim Ein- und Austritt der fließenden Masse aus dem Rohr ergeben, soll hier nicht gesprochen werden.

Zur Anordnung anisometrischer Festkörper

Beliebig in der Glucose schwimmende Fäden zeigen erstaunlich wenig Neigung, sich im Fließen zu strecken. Stäbchen legen sich im Rohr (mehr oder weniger gut je nach der Geschwindigkeit) parallel der Strömung. — Für die Anordnung der Stäbchen im Zylinder ist nicht ohne Bedeutung, wie schnell die Körper in der Flüssigkeit durch Auftrieb aufsteigen können.

Wenn die im Zuführungsrohr strömungsparallel geregelten Stäbe von unten her (in den vertikal gestellten) Zylinder einströmen, schwenken sie um und stellen sich quer. Und zwar lenken sie dort in die Querlage ein, wo die spannungsanzeigenden anisometrischen Bläschen gerade das kugelige Zwischenstadium zwischen Längs- und Querdeformation haben (Fig. 4a und b).

Die horizontalgestellten Stäbchen tendieren sodann dazu, sich parallel zur Zylinderwand anzuordnen; ganz das gleiche Bild erhält man, wenn die mit Stäbchen versehene Glucose in einen Eimer umgegossen wird. Es handelt sich also um einen Randeffect, wobei sich in letzterem Falle für die Schlierenbildung (Divergenz zwischen Voranrücken der Flüssigkeit und „örtlicher Fliessrichtung“) besondere Bedingungen ergeben. Ganz allgemein aber gilt, dass nur jene Teilchenregelung, die im Augenblicke des Einströmens beobachtet wird, dem Spannungszustand der eingepressten Schmelze entspricht; hernach geht die Stäbchenregelung

über in die viskositäts- und auftriebsbedingte Textur des „Zerfließens und Zergleitens“. Dem entspricht auch die folgende Beobachtung: Wenn man den Zylinder schräg stellt, so dass der jeweilige Horizontalschnitt durch den Zylinder (= Einströmungsfront) eine Ellipse ist, so ordnen sich die Stäbchen ebenfalls horizontal längs der Zylinderwand, sie stehen somit also symmetrierniedrigend zum ursprünglichen Kuppelgewölbe der Blasen und Schlieren.

Wie schon weiter oben erwähnt, verlangen die „starren“ Paralleltexuren besondere Bedingungen für ihre Entstehung: Entweder erfolgte die Kristallisation der gesamten Masse, ehe es zum „Zerfließen“ kam, oder aber die Einregelung ist jünger als das Stadium des Einströmens und „Zerfließens“.

In Vulkaniten kann man wegen der schnellen Erstarrung immer voraussetzen, dass die Phase des „Zerfließens“ nicht mehr zur Wirkung kam; mit dem Erguss oder dem subvulkanischen Einströmen in höhere Regionen sinkt die Temperatur rasch genug ab, um die primäre Textur zu erhalten. Bei Plutoniten liegt der Fall anders: Überall dort, wo es zu einem ausgeprägten Kuppelbau gekommen ist, wird man voraussetzen können, dass der Temperaturgradient klein war; demnach sollte der Übergang von der viskosen Schmelze in den kristallinen Zustand *später* anzusetzen sein als die Phase des (Einströmens und) „Zerfließens“. Lediglich bei wassergesättigten Graniten könnte infolge des geringen Schmelzintervalles (nach Winkler liegen Solidus- und Liquiduskurve nur ca. 25° C auseinander!) eine sofortige Fixierung des primären Einströmens erfolgen; regionale Kuppeln sollten dann aber beziehungsweise unvollkommen ausgebildet sein. Der häufige Kuppelbau und die Kleinkuppel-elemente in Granitplutonen weisen aber darauf hin, dass sich der Erstarrungsprozess im Granit doch sehr langsam vollzieht⁷⁾.

c) Andere viskose Medien

Die verwendete Glucose hat eine von der Schubspannung unabhängige Viskosität, wie die Messungen an der Viskosaage bestätigen, sie ist also rein viskos, ergab bei Zimmertemperatur $\eta_{T(20^\circ)} = 3,54 \cdot 10^6$ cP⁸⁾ und ist daher für Versuchszwecke sehr gut geeignet.

Freilich ist anzunehmen, dass in erstarrenden Schmelzen Struktur-

⁷⁾ Etwa dadurch, dass der Einströmungsraum tiefer liegt als die kritische Anstiegshöhe für das granitische Magma bestimmter H₂O-Sättigung. Es ist so, als ob die Granite immer etwas tiefer stecken bleiben als es ihnen theoretisch möglich ist. Vgl. WINKLER!

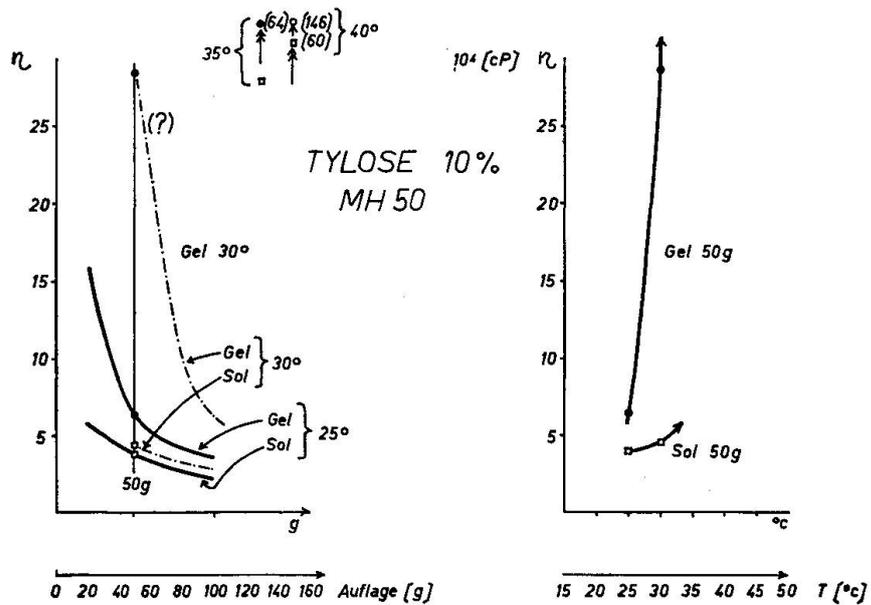
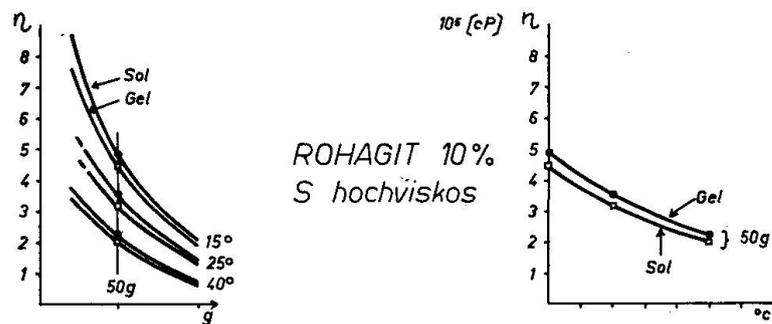
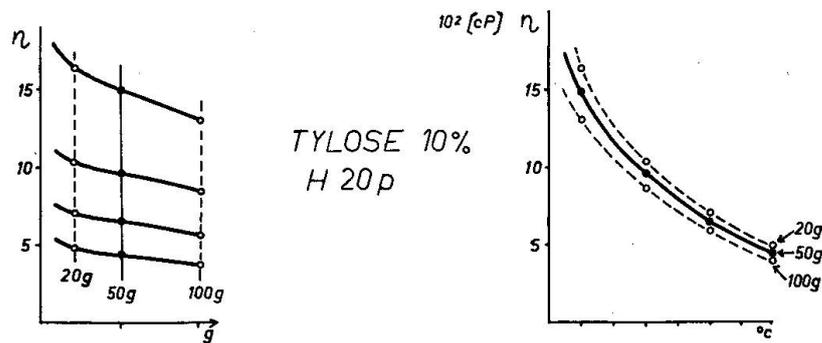
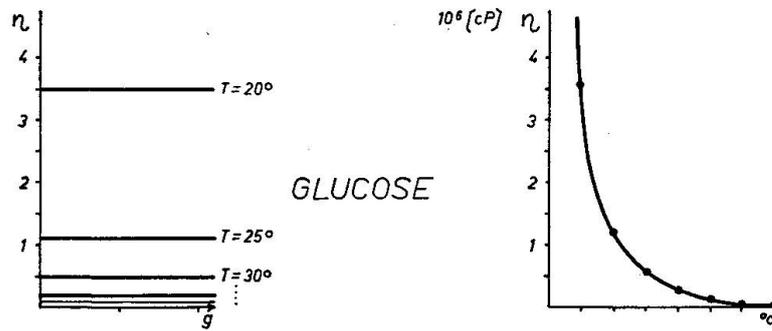
viskositäten auftreten, so dass also je nach den Bedingungen, durch die das Einströmen in Gang gekommen ist, unterschiedliche Viskositäten herrschen, dass gegebenenfalls erst eine Fließgrenze überschritten werden muss und die Viskosität auch bei Temperaturkonstanz nicht stationär bleibt. Da aber gerade infolge der gleichzeitigen Abkühlung die Viskosität steigen wird, kann der Effekt der Strukturviskosität kompensiert werden, so dass also der *Fließvorgang des strukturviskosen Materials im Temperaturgefälle* ähnlich bleibt einem *Fließvorgang eines reinviskosen Materials bei Temperaturkonstanz*.

So gesehen werden sich also die experimentellen Resultate nicht so sehr von denen unterscheiden, die in der Natur unter den dortigen Verhältnissen ablaufen. — Ganz aus dem Rahmen der Glucoseversuche hingegen fallen thixotrope Phänomene!

Für kompliziertere Fälle viskosen Verhaltens stehen, abgesehen von Gelatinen, hochmolekularen organischen Säuren und Verwandten, auch technische Produkte wie Tylose, Rohagit, Carbowax (aus den Gruppen der Methylzellulosen („Kunsthharze“), Polyäthylenglykole usw.) zur Verfügung. — Die strukturviskose Tylose MH 50 beispielsweise liefert — gleiche Schubspannung bei konstanter Temperatur vorausgesetzt — im Gelzustand einen scheinbaren η -Wert von 155 gegenüber nur $\eta = 58$, sobald sich das Sol gebildet hat; Regenerationszeit des Gels ca. 1 Std. Da sich (mittels der Sondermesskörper nach dem Kapillarströmungsprinzip) an der Viskosaage leicht auch die Absolutwerte der Viskosität feststellen lassen, hat man es in der Hand, die Phänomene in der hydraulischen Anlage reproduzierbar zu verändern (vgl. auch Fig. 5).

Es bedarf also vieler Versuchsserien und Varianten, um sich ein Bild davon zu machen, unter welchen Umständen sich Regelungen ergeben, die von mir vereinfachend als a-Regelungen auf der einen Seite, b-Regelungen auf der anderen Seite genannt worden sind. Der Übergang von der magmatischen Erstarrung zur metamorphen Fixierung wird zwar erst dann klar erfassbar sein, wenn man Systeme hat, die auch — während sie einströmen — kristallisieren. Aber durch Vergleich von Spannungsellipsoiden und Teilchenausrichtungen in geeigneten geologisch angepassten Versuchsabläufen lässt sich auch schon in nicht kristallisierenden Systemen manche Grenzfrage besser formulieren und damit der Beantwortung näher führen.

⁸⁾ Bei $15^\circ = 11 \cdot 10^6$; bei $25^\circ = 1,27 \cdot 10^6$; bei $50^\circ = 31 \cdot 10^3$.



Literatur

- BALK, R. (1932): Viscosity Problems in igneous Rocks. *J. of Rheology* 3, S. 461.
 — (1937): Structural behavior of Igneous Rocks. *Geol. Soc. Am. Memoir* 5.
 CLOOS, E. (1936): Der Sierra Nevada Pluton in Californien. *N. Jb. Min. Geol.* BB 76, S. 355.
 CLOOS, H. (1925): Tektonische Behandlung magmatischer Erscheinungen I. Bornträger, Berlin.
 — (1928): Bau und Bewegung der Gebirge in Nordamerika, Skandinavien und Mitteleuropa. *Fortschr. Geol. Pal.* VII, 21.
 — (1933): Plutone und ihre Stellung im Rahmen der Krustenbewegungen. *Inter. Geol. Congress* 16, Washington.
 DUPARC, L. und MRAZEC, L. (1898): Recherches géologiques et pétrographiques sur le Massiv du Mont-Blanc. *Mém. Soc. Phys. et Hist. Nat. de Genève*, T. XXXIII, Nr. 1.
 FISCHER, G. (1957): Über das Moldanubicum der Bayrischen Oberpfalz. *Der Aufschluss*. 6. Sonderheft, S. 7.
 MEHNERT, K. R. (1959): Der gegenwärtige Stand des Granitproblems. *Fortschr. Min.* 37, 2, S. 117.

Fig. 5. Beispiele viskosen Verhaltens. Ordinate in allen Diagrammen: Viskosität η [cP]. — Abszissen in den linken Diagrammen: Auflagegewichte der Viskowaage (eingetragen also Viskositätskurven bei bestimmten Temperaturen). — Abszissen in den rechten Diagrammen: Temperaturen (eingetragen also Viskositätskurven bei bestimmten Auflagegewichten).

1. *Glucose* ist ein reinviskoser Stoff. Keine Abhängigkeit der Viskosität von der Schubspannung. Es existiert (rechtes Diagramm!) nur *eine* Viskositätskurve/Temperatur.
 η/T ist bei beliebiger Gramm-Auflage eingetragen.
2. *Tylose H 20 p* ist strukturviskos. Es ergeben sich für verschiedene Schubspannungen unterschiedliche Viskositätskurven.
 η/T ist eingetragen für 20, 50 und 100 g Auflage.
3. *Rohagit S hochviskos* ist strukturviskos und leicht thixotrop: Pro Schubspannung gibt es einen η -Wert für das Gel (erster Versuch) und einen zweiten η -Wert für das Sol (nämlich den Minimalwert bei Wiederholung des Versuches vor einer Regeneration zum Gel).
 η/T ist eingetragen für 50 g Auflage.
4. *Tylose M H 50* zeigt einen anormalen Fall eines thixotropen, strukturviskosen Körpers. Infolge Strukturänderung („Ausfallen“) bei Erhitzen steigt die Zähigkeit, was einen inversen η/T -Kurvenverlauf ergibt. — Starke Sol-Gel-Differenzen.
 η/T eingetragen für 50 g Auflage.
 (Bemerkungen zu 4: Die η/g -Werte für Temperaturen $> 30^\circ$ liegen bereits höher als der dargestellte Ordinatenabschnitt. Das Sol bei 35° passt gerade noch in die Skala, der Gel-Wert liegt bei $\eta = 64$. — Das Sol bei 40° hat den Wert $\eta = 60$, das Gel $\eta = 146$.)

- NICKEL, E.: Literatur zum Odenwald. Siehe in Fortschritte Min. 1948 (S. 66); 1950/51 (S. 79); 1952 (S. 37); 1953 (S. 78). Ferner:
- (1948): Wechselbeziehungen zwischen Dioriten, Graniten und Schiefen. Heidelberger Beitr. I, S. 427.
 - (1952): Die mineralfazielle Stellung der Hornblendegabbros. Heidelberger Beitr. III, S. 97.
 - (1952): Die petrogenetische Stellung der Tromm. Sitz.-Ber. Akad. Wiss. Heidelberg, m. n. Kl. 3. Abh.
 - (1954): Grenzfazies und Angleichgefüge. Opuscula Min. et. Geol. II, Feller-Verlag (Grötschel) Kettwig.
 - (1955): Das Odenwälder Grundgebirge (und: Die Oetzbergzone). Der Aufschluss, 2. Sonderheft, S. 19 und S. 118.
 - (1956): Phasenablauf der Tektonogenese im Raume Knoden. N. Jb. Min., Abh. 89, S. 302.
 - (1961): Mehrphasigkeit im Hornblendegneis von Ostern. N. Jb. Geol. Mh. S. 502 zus. mit I. M. Obelode-Dönhoff.
 - (1962): Der Hornblendegneis von Ostern. N. Jb. Min., Abh. S. 157, zus. mit I. M. Obelode-Dönhoff.
- OULIANOFF, N. (1960): Granite-Gneiss dans le massif du Mont-Blanc. Int. Geol. Congr. 21. Sess. (Norden) 1960, Part XIV (section 14), Copenhagen. S. 158.
- Dasselbst auch die weitere Literatur Oulianoffs über den Montblanc, beginnend mit Corbin/Oulianoff: Recherches tectoniques dans la partie centrale du massif du M. B. (Bull. Soc. vaudoise Sc. nat., Lausanne, 1926, Vol. 56, S. 101).
- PURTSCHELLER, F. (1961): Über flächige und axiale Gefügeelemente in den Graniten des Mont-Blanc-Gebietes I (23. 3.) und II (23. 11.). Vorläufige Mitteilungen in Österreich. Akad. Wiss. m. n. Kl. Jg. 61 Nr. 5 (S. 39) und Nr. 13 (S. 218).
- V. RAUMER, J. (1962): Geologie des nordwest-spanischen Grundgebirges bei Noya (La Coruña). N. Jb. Geol. Mh. S. 74.
- (1963): Zur Tektonik und Genese des nordwest-spanischen Kernkristallins bei Noya (La Coruña). Geotekt. Forsch. H. 17.
 - (1963): Fliessgefüge und Tektonik in den Quarzporphyren des Mont-Blanc. N. Jb. Geol. Abh. 117 (Festband Lotze), S. 265.
- RIEDEL, W. (1929): Das Aufquellen geologischer Schmelzmassen als plastischer Formänderungsvorgang. N. Jb. Min. Geol. BB 62 B, S. 151.
- OEN ING SON (1958): The geology, petrology and ore deposits of the Vizeu-Region. Com. Serv. Geol. Portugal 41.
- SANDER, B. (1948): Einführung in die Gefügekunde der geologischen Körper, 1. T. Springer Verlag Wien. (2. Teil: 1950.)
- SCHERMERHORN, L. J. G. (1959): Igneous, metamorphic and ore geology of the Castro Daire — São Pedro do Sul — Sátão Region (Thesis Amsterdam). Com. Serv. Geol. Portugal 37.
- (1962): The emplacement of the late hercynian granites in Portugal. Geologie en Mijnbouw 41, S. 20—28.
- WINKLER, H. G. F. (1962): Viel Basalt und wenig Gabbro — wenig Rhyolith und viel Granit. Beitr. Min. Petr. 8, S. 222.

Manuskript eingegangen am 17. Mai 1963.