

Zur Deutung gefüllter Feldspäte *)

Von H. P. Cornelius in Wien

Mit dem Ausdruck „gefüllte Feldspäte“ bezeichnen HERITSCH und ANGEL (4) diejenigen Feldspäte, welche von anderer Seite — so auch von mir — meist kurzerhand als mehr oder minder unter Erhaltung der äusseren Form umgewandelt beschrieben worden sind. Die Bezeichnung ist gut, da sie nichts über die Genese der Erscheinung voraussetzt; sie soll daher auch hier gebraucht werden.

Es sind nun in den letzten Jahren einige Arbeiten erschienen, in welchen die Erscheinung ausführlich erörtert und zu deuten versucht wird; insbesondere von F. ANGEL (2) und E. CHRISTA (10); an sie wird im Folgenden des öfteren angeknüpft werden. Ich selbst habe mich damit bereits in meiner ersten, das Juliergebiet betreffenden Arbeit (11) befasst. Da ich nun daran bin, meine dortigen Ergebnisse abschliessend zusammenzustellen, ist es nötig, auf das genannte Thema zurückzukommen, was hier etwas ausführlicher geschehen soll. Ich werde in erster Linie meine Erfahrungen aus dem Albula-Juliergebiet zu Grunde legen, daneben aber auch solche aus meinen anderen Arbeitsgebieten: Veltlin und Nachbarschaft, Semmeringgebiet in Steiermark, Glocknergebiet in den Hohen Tauern heranziehen.

I. DIE FÜLLUNGSMINERALIEN

Als solche treten auch in den von mir untersuchten Gesteinen ein Mineral der Zoisit- und eines der Glimmergruppe immer wieder auf.

Das Zoisitmineral ist im Julier-Albulagebiet wohl auch — wie bei ANGEL (2) — in den meisten Fällen Klinozoisit; wenn auch die Interferenzfarben gewöhnlich mehr an Zoisit α erinnern. Doch handelt es sich da stets um sehr kleine, im Schliff meist mehrfach übereinander bzw. über Albitsubstanz gelagerte Individuen. Über die sehr häufigen allerfeinsten, im gewöhnlichen Licht als graue Trübungen erscheinenden Aggregate lässt sich überhaupt nichts weiter sagen als dass sie mit den sicheren Füllungszoisiten durch eine lückenlose Reihe von Übergängen verbunden sind und also wohl auch dahin gehören. Doch führen solche anderseits weiter zu grösseren Klino-

*) Veröffentlicht mit Erlaubnis der Geologischen Kommission der S.N.G.

zoisitindividuen, die nicht mehr eigentlich als Füllungsmineralien zu bezeichnen sind. Darüber später; zunächst genügt es, festzustellen, dass damit auch eine gleichartige Bestimmung der feineren Aggregate — mindestens in vielen Fällen — wahrscheinlich wird.

Das lichte Glimmermineral wurde von mir — wie meist auch von anderen — stets als Sericit bzw. Muskowit betrachtet; obwohl einer sicheren Unterscheidung von Paragonit die gleichen Schwierigkeiten entgegenstehen, die auch ANGEL (2, S. 37) hervorhebt. Aber wie dieser auf einem indirekten Wege den Nachweis des Kaliglimmers als erbracht ansieht: durch das Ansteigen des K_2O -Gehalts mit Zunahme des Zoisits (dem eine solche des Glimmers parallel geht) nach CATHREIN's Analysen von Saussuriten — ebenso ist durch meine Analysen des Granits der Roccabella (11, S. 400) sowie diejenigen STAUB's (28, S. 71, 81) vom Granit der Val Roseg und eines zugehörigen Ultramylonits ein Steigen des K_2O -Gehaltes mit Zunahme des Sericits im Gestein¹⁾ belegt. Und auch SCHUPPLI gibt (25, S. 60) die Analyse eines ganz vorwiegend Plagioklas führenden Granits mit 6,72 % K_2O , die auch nach seiner Ansicht auf Muskowitnatur des erfüllenden Glimmers deuten. Es wäre ja gewiss wünschenswert, der Sache durch eine grössere Analysenserie genauer nachzugehen, um volle Sicherheit zu erlangen. Einstweilen scheinen mir die vorhandenen Anhaltspunkte immerhin genügend, um anzunehmen, dass allgemein Muskowit vorliegt und nicht Paragonit; zumal ja ersterer ein allverbreitetes, letzterer aber ein recht ausnahmsweise auftretendes Mineral ist. Schon deshalb wird man auf Grund der zitierten Analysen auch in Fällen, für die es noch keine solchen gibt, zunächst an Muskowit zu denken haben und sich nicht durch die vorgefasste Meinung irreführen lassen dürfen, dass in einem Plagioklas nur Natronglimmer zur Entstehung kommen könne²⁾.

Andere Mineralien habe ich in Engadiner Gesteinen als Bestandteil von Feldspatfüllungen nie beobachtet. Und auch sonst nur ausnahmsweise. Ich sehe dabei ab von den in Tauerngesteinen manchmal darin vorkommenden Chloriten, Biotiten³⁾, Hornblenden usw., die ANGEL (2, S. 45) mit vollem

¹⁾ Ich kann dieselbe allerdings nur generell aus dem Augenschein erschliessen; eine quantitative Feststellung des Sericitgehalts wird der Feinheit der einzelnen Blättchen wegen wohl nicht möglich sein.

²⁾ So z. B. SCHUPPLI (25, S. 16). Vgl. auch die Fussnote bei STRECKEISEN, 29, S. 118.

³⁾ Auch CHRISTA (10, S. 554) gibt bezüglich des in Granodioritfeldspäten von ihm beobachteten Biotits zu, man könne „vielleicht im Zweifel sein, ob er nicht als frühzeitig aus dem Schmelzfluss normal ausgeschiedener und hier noch

Rechte von der „echten“, mit dem Feldspat genetisch verknüpften Fülle — einzig von solcher soll hier die Rede sein — abtrennt; selbstverständlich sehe ich auch ab von Relikten eines älteren Gesteinsgefüges, die von albitischen Neubildungen umschlossen wurden, wie so oft in Tauerngesteinen oder in den Albitknotengneisen des Veltlins usw. Aber es sind mir aus anderen Gegenden Fälle bekannt, wo sich ein Granat an der Zusammensetzung der Fülle beteiligt, z. B. aus einem Gabbro der Fedozserie (15, S. 34); er liegt hier allgemein am Rande gegen umgewandelten Pyroxen. Daraus schloss ich, dass er ein Reaktionsprodukt zwischen diesem und dem Feldspat sei. Dass es sich dabei nicht um einen Kalk-, sondern einen Eisenoxydulgranat handelt, ist wohl ebenso wahrscheinlich, aber ebenso wenig sicher erweisbar wie in ANGEL's Material (2, S. 38). — Ein anderer, vielleicht noch merkwürdigerer Fall wurde ebenfalls (15, S. 39) bereits erwähnt: da liegen kleine Granaten als einziges „echtes“ Füllungsmineral in Albitflecken (umgewandelten Einsprenglingen eines Porphyrits?). — Endlich kenne ich auch in einem Tauern-Tonalitgneis aus dem Stubachtal kleine Granaten neben vorherrschender Zoisitfülle in Albit. In all diesen Fällen kommt der Granat als Gesteinsgemengteil ausserhalb der Feldspäte nicht vor, was entschieden dafür spricht, dass er zur „echten“ Fülle zu zählen ist.

Niemals beobachtet habe ich Sillimanit (es sei denn in Gesteinen, die ihn auch sonst als normalen Gemengteil führen), den CHRISTA (10, S. 555), wenn auch mit Vorbehalt, anführt. Dass er sich wirklich an Plagioklasfüllungen als gleichgeordnetes Glied beteiligt, ist mir schon aus mineralfaziellen Gründen äusserst unwahrscheinlich.

Auch den mehrfach erwähnten Quarz habe ich nie unter Umständen getroffen, die seine Zugehörigkeit zur „echten“ Fülle zweifellos erscheinen liessen. Wo er neben solcher auftritt, handelt es sich vielmehr fast immer um sicheren Myrmekit, dessen Plagioklasanteil Fülle — meist locker und muskovitreich — enthält. In Engadiner Graniten ist dies gar nicht so selten. Und die spärlichen Fälle, die nicht mit voller Bestimmtheit dahin gehören, bleiben fraglich.

embryonal entwickelter Gemengteil nur einen mehr zufälligen Einschluss innerhalb der Feldspatsubstanz darstellt.“ — Die von STAUB mehrfach erwähnten „Biotitmikrolithen“ (28, S. 68, 89, 111 u. a.) seien hier nur beiläufig berührt; sie haben bestimmt nichts mit Feldspatfülle zu tun, da sie ebenso auch in anderen Mineralien (Quarz!) eingeschlossen sein können. Nach SCHUPPLI (25, S. 47) wären sie jünger als die Kataklaste!

Alles in allem decken sich demnach meine Erfahrungen über das Auftreten bestimmter Mineralien in der Füllung fast ganz mit dem, was BECKE (6 a, S. 123) schon vor fast 30 Jahren bekannt gegeben hat.

II. DER GRUNDPLAGIOKLAS

So sei im Anschluss an ANGEL (2, S. 39) der Plagioklas genannt, welcher die Füllungsmineralien umschliesst. Wo sich derselbe bestimmen lässt, handelt es sich bei meinem Material aus dem Engadin nahezu ausnahmslos um Albit bis Albitoligoklas, was ja auch nach den Erfahrungen ANGEL's das Normale ist. Allerdings ist in sehr vielen, vielleicht den meisten Fällen die Einlagerung der Füllungsmineralien so dicht, dass eine Bestimmung des Grundplagioklasses unmöglich wird; manchmal erkennt man noch mit Hilfe des Kondensors und eines starken Objektivs die hindurchschimmernden Zwillingsslamellen, manchmal hört selbst das auf. Das gilt insbesondere für basische Gesteine. Sehr oft sind es nur einzelne unregelmässig abgegrenzte Teile eines Individuums, welche noch die Bestimmung zulassen. — Immerhin sind einzelne Fälle bekannt geworden, wo anorthitreichere Mischungen vorliegen; so im Diorit des Piz Materdell-Gipfels Ab_3An_2 . Aber hier ist die Füllung rudimentär geblieben!

Kornzerfall in der Art, wie er in den Tauern verbreitet — in meinem Material aus der Glocknergruppe ganz ebenso, wie es ANGEL, CHRISTA u. a. beschreiben — fehlt den Engadiner Gesteinen durchaus (die Zertrümmerung der Feldspäte bei Mylonitisierung führt zu ganz anderen Bildern!). Dagegen ist in den Gabbros der Fedozserie mitunter ähnliches angedeutet.

Wichtig ist der Umstand, dass es sich bei den gefüllten Feldspäten ganz ausnahmslos um Plagioklasse handelt. An K-Feldspäten habe ich nie etwas ähnliches beobachtet. Das gilt nicht nur für's Juliergebiet, sondern für alle Gebiete, aus denen ich die Erscheinung kenne. Ich befinde mich damit in voller Übereinstimmung mit CHRISTA, der aus dem Zillertal dasselbe Ergebnis anführt (10, S. 563).

Aber auch die andere Tatsache ist wichtig und sei schon hier vermerkt, dass neben den gefüllten Plagioklasen mitunter im gleichen Schriff auch ungefüllte vorkommen; teils als Randzone um jene, teils auch in selbständigen Individuen. Auch da handelt es sich — und zwar immer — um Albit bis höchstens Albitoligoklas. Davon abgesehen ist Zonarstruktur — insbesondere auch verkehrte — an den Grundplagioklasen meines Engadiner Materials nie festzustellen.

III. EINIGES DETAIL

In den Graniten des Albula-Juliergebiets erscheinen die vielfach idiomorphen (jedenfalls normalerweise mechanisch nicht umgeformten) Plagioklase so gut wie immer gefüllt (wegen Ausnahmen vgl. das soeben Gesagte!); darauf beruht ja ihre z. T. sehr lebhaft grüne Farbe — die makroskopisch auffälligste Besonderheit dieser Gesteine. Und zwar überwiegt unter den Füllungsmineralien zumeist der *Sericit*, teils in deutlich individualisierten Blättchen von durchschnittlich 0,01—0,02 mm, teils als mehr oder minder feiner Filz. Doch herrscht er nur selten allein; der von mir (11, S. 396 f.) beschriebene Granit der Roccabella bildet in der Hinsicht eine Ausnahme. Sonst ist fast stets *Zoisit* damit vergesellt; jedoch nur selten gleichmässig beigemischt, vielmehr gewöhnlich in fleckenweiser Verteilung. Von trüben Flecken finden sich da alle Übergänge bis zu zierlichen skelettartigen Bildungen, wie sie gelegentlich als „*Zoisitbesen*“ erwähnt worden sind. Besonders erwähnenswert sind die Fälle, wo die Füllung einen — sonst nicht mehr wahrnehmbaren — Zonenbau abbildet. ANGEL hat dies (2, S. 40) gleichfalls beschrieben; aber im Einzelnen ergeben meine Beobachtungen andere Bilder, insofern als der Hauptunterschied zwischen den einzelnen Zonen weniger auf dichter oder lockerer Füllung beruht, sondern auf Vorherrschaft bis alleiniger Herrschaft des einen oder anderen der beiden Füllungsmineralien. Und zwar zeigen sich da alle denkbaren Fälle verwirklicht (von mehrfachen Rekurrenzen abgesehen, die ich nicht beobachten konnte): *Zoisit* vorherrschend oder allein im Kern, darum eine Hülle mit vorherrschendem *Muskowit* (das würde, die Gültigkeit der unten zu erwähnenden Regel vorausgesetzt, der normalen Zonenfolge entsprechen); oder einmalige Rekurrenz einer *zoisit*-reichen Zone; oder *zoisit*-reiche Aussenzone um *zoisit*-ärmeren Kern; oder endlich reine *Sericit*-aggregate im Kern, darum eine mehr oder minder *zoisit*-reiche Aussenzone. Dass eine schmale Randzone oft aus ganz ungefülltem *Albit* besteht, wurde bereits erwähnt (ebenso bei ANGEL, 2, S. 40; und CHRISTA, 10. S. 557). Wenn auch im allgemeinen die Feldspäte eines Schliffes eine gewisse Übereinstimmung in der Art dieser Füllungszonen erkennen lassen, so finden sich doch auch mitunter verschiedene der angeführten Typen in einem Schlicke nebeneinander; daraus mag hervorgehen, wie schwierig es ist, hier ein allgemeineres Gesetz aufzustellen.

Ganz ähnlich wie in den Graniten verhalten sich die Plagioklase in den dioritischen Gesteinen des Albula- und Juliermassivs; nur überwiegt hier im allgemeinen der *Zoisit* (Grösse 0,02—

0,03 mm) mehr oder minder über den Muskowit. Nicht selten beobachtet man auch bereits Sammelkristallisation des ersteren, die zu grösseren Klinozoisitindividuen führt. Zonarstruktur findet sich wie oben. — Makroskopisch zeigen diese Dioritfeldspäte fast nie die lebhaften Farben der granitischen, sondern ein blasses, oft gelbliches oder weissliches Grün, manchmal sogar fast reines Weiss.

In gabbroiden Gesteinen des Oberhalbsteins (Platta - Teildecke), z. B. dem berühmten Gabbro von Marmorera, sind die wiederum schön grün gefärbten Plagioklase von einem gleichmässigen feinen Zoisitfilz (0,01—0,04 mm Länge der einzelnen Nadeln) erfüllt, in der Regel ohne oder mit verschwindender Beteiligung von Muskowit, die nur in stark durchbewegten Gesteinen z. T. mehr hervortritt (so im Gabbro von Grevasalvas; vgl. 11, S. 429). Ähnlich verhalten sich die Gabbrogesteine der Fedozserie (15, S. 34), mit dem Unterschiede, dass hier die Zoisitnadeln wesentlich grösser (0,1—0,2 mm!) entwickelt zu sein pflegen; der Muskowit spielt aber auch dort keine oder eine ganz untergeordnete Rolle (ausser wieder in manchen stark durchbewegten Gesteinen, wo man nicht mehr von gefüllten Feldspäten reden kann; S. 37). Das Bild dieser Plagioklase scheint ganz dem zu entsprechen, das CHRISTA (10, S. 591) aus gabbroiden Gesteinen des Zillertals beschreibt.

Gehen wir noch einen Schritt weiter, zu ultrabasischen Gesteinen, in welchen der Feldspat mehr und mehr zurücktritt, so finden wir ihn ersetzt durch ein einheitliches Pflaster von Zoisit (Fedozserie, 15, S. 34; hier aber z. T. auch schon in normalen Gabbros!) bzw. Klinozoisit. Letzteres pflegt der Fall zu sein in den basischen (gabbroid-hornblenditischen) Schlieren der Julier-Diorite. Albit ist in beiden Fällen nicht mehr nachweisbar! „Gefüllte“ Plagioklase liegen also nicht mehr vor; als Endglied einer Reihe muss jedoch auch diese Erscheinung hier Erwähnung finden.

Zusammenfassend können wir also sagen: je anorthitreicher wir nach dem Gestein, in dem er sich vorfindet, den betreffenden Plagioklas annehmen müssten, desto mehr überwiegen unter den Füllungsprodukten die Zoisitmineralien über den Muskowit, der bereits in gabbroiden Gesteinen, also bei vermutlich Labradorzusammensetzung des Feldspates, meist gänzlich verschwindet. Es steht das gut im Einklang mit den Erfahrungen über die Verbreitung verschiedener Füllungstypen, die CHRISTA (90, S. 557/558) ausgesprochen hat.

Gleichwohl darf diese fürs Engadin und seine südliche Nachbarschaft wie fürs Zillertal (CHRISTA) gültige Regel nicht ohne weiteres verallgemeinert werden. So kenne ich aus Gabbroamphiboliten des Semmeringgebiets (Brameck S Rettenegg) mit weitgehend erhaltener Erstarrungsstruktur vollkommen idiomorphe Plagioklase, in deren Füllung Sericit reichlich, ja z. T. überwiegend neben Zoisit vertreten ist. Auch in den gabbroiden Amphiboliten der Riffdecke des Glocknergebiets findet sich wenigstens in einzelnen Schlifften reichlich Muskowit neben immer noch überwiegenden Zoisitmineralien in den Plagioklasen. Allerdings sind diese Gesteine den zuvor genannten des Oberhalbsteins usw. nicht streng zu vergleichen, da es sich nicht mehr um strukturell unveränderte Eruptiva handelt, vielleicht sogar um mehrere zeitlich weit getrennte Phasen metamorpher Prozesse. — Umgekehrt findet sich auch in einem — ziemlich quarzreichen — Tonalitgneis vom Kapruner Törl als Füllungsmineral ausschliesslich Zoisit, während in verwandten Gesteinen von benachbarten Fundorten auch mehr oder minder reichlich Sericit vorkommt.

IV. ZUR VERBREITUNG

Wir haben gesehen, dass gefüllte Feldspäte in granitischen, dioritischen und noch basischeren Massengesteinen — mit vollkommen unversehrter Erstarrungsstruktur! — des Albula- und Juliermassivs im Engadin herrschen. Gleiches gilt auch für die zugehörigen Ganggesteine, wie den Granitporphyr der Tschima da Flix und die Lamprophyre. Nur dort, wo die Plagioklase primär reine (oder fast reine) Albite sind, wie in den Alkalisyeniten und manchen Apliten, fehlt die Füllung. Sie findet sich aber nicht nur in Erstarrungs-, sondern auch in metamorphen Gesteinen des genannten Gebiets sozusagen ganz allgemein: in den Orthogneisen ebenso wie in solchen sedimentogenen Ursprungs, z. B. den Biotit-Plagioklasgesteinen der granitischen Kontakt- und Schollenzonen. Auch in tiefere tektonische Einheiten (Plattadecke) steigt sie hinab, betrifft hier jedoch die Gesteine nur insoweit, als ihre primäre Struktur noch einigermaßen erhalten geblieben (Gabbro, Diabasporphyr usw.) — nicht aber die vollständig umgeformten Prasinite usw., die an Feldspäten nur neugebildeten Albit enthalten.

Ganz ähnlich steht es in dem Gebiet vom Engadin südwärts bis zur Insubrischen Linie und darüber hinaus (Daziogranit, 12, S. 307f.), soweit es sich wenigstens um alte Gesteine — intrusiver wie metamorpher Natur — handelt. Das gilt sowohl vom ostalpinen Gebiet — Zone von Brusio u. a. vgl. 12. — als auch von der penninischen

Fedozserie; und hier speziell nicht bloss von dem schon erwähnten Gabbro, sondern auch von den Granatgneisen (15, S. 3) und nicht minder von manchen Kalksilikatfelsen (15, S. 22), deren Plagioklase von massenhaften feinen (0,04—0,06 mm) Zoisitnadelchen erfüllt sind (in einem anderen dieser Gesteine — 15, S. 23 — ist ausnahmsweise ein ziemlich Ca-reicher Plagioklas erhalten, mit nur einzelnen Zoisitbesen). Dies alles sind — die Feststellung ist von Wichtigkeit — ausgesprochen sedimentogene Gesteine! — Anders verhält es sich mit den jungen Intrusiven: dem Granit und Tonalit des Disgraziamassivs, Tonalit von Sondrio und deren Kontaktbildungen, deren Feldspäten die Füllung in der Regel abgeht. Allein nicht ausnahmslos: ich besitze z. B. Schiffe von Disgraziagranit vom Sass primavera (Val Bondasca) mit lockerer Sericitfüllung in den Plagioklasen (Blättchen von der gleichen Grössenordnung wie in den unterostalpinen Graniten). So ist das teilweise Vorkommen von gefüllten Plagioklasen in den kleinen Intrusivmassen des oberen Veltlins und der oberen Val Camonica wohl auch kein Hindernis, dieselben der jungen Gruppe zuzuzählen, wie dies ihr geologisches Auftreten wahrscheinlich macht⁴⁾; vgl. 17, S. 256 f. Gleiches gilt von den porphyritischen Gängen der Bergamasker Alpen mit ihren gleichfalls z. T. gefüllten Feldspateinsprenglingen. Jedenfalls kann ich meine alte Meinung (14) nicht mehr aufrecht halten, wonach aus der Beschaffenheit der Feldspäte geradezu auf das Alter eines Intrusivgesteins geschlossen werden könnte. Noch viel weniger freilich vermag ich mich der neuesten Ansicht von ANGEL und HERITSCH (5) anzuschliessen, die gefüllte Feldspäte sogar zu einem Charakteristikum junger Intrusiva machen wollen.

Nur kurz hingewiesen sei auf die mir aus eigener Anschauung bekannten Vorkommen in Tauerngesteinen, welche z. T. oben bereits Erwähnung fanden; ihre eingehendere Beschreibung wird in anderem Zusammenhang erfolgen. Es handelt sich hier vorwiegend um Gesteine mit Resten von Erstarrungsstrukturen — von granitischen Gneisen bis zu Gabbroamphiboliten. Gegenüber den Engadiner usw. Vorkommen unterscheiden sie sich durch den — fast allgemein verbreiteten — Zerfall der Plagioklase in einzelne meist rundliche Körner, sowie vielfach durch die bedeutendere Grösse der Füllungsmineralien (Muskowit 0,02—0,08 mm, Zoisit 0,02—0,15 mm); Er-

⁴⁾ Es mag hier daran erinnert sein, dass F. BECKE schon vor 40 Jahren (6, S. 420) aus dem Rieserfernertonalit gefüllte Feldspäte beschrieben hat mit Zoisit und Muskowit in den basischen Kernen.

scheinungen, wie sie im W nur in den Gabbros der Fedozserie z. T. ihresgleichen finden.

Im Gegensatz dazu kenne ich aus dem Semmeringgebiet gefüllte Plagioklase auch wieder aus rein sedimentogenen kristallinen Schieferen; so aus den mannigfachen Biotitschiefern und -Gneisen des Troiseckzuges, ebenso aus den (16) erwähnten Biotitgesteinen der Gegend Stanglalde-Treibachgraben. Kurz genannt nur sei das Plagioklas-Granatgestein des Feistritztales, dessen Plagioklas fast ganz oder ganz durch Sericitaggregate mit einzelnen Zoisitnadeln ersetzt ist. Natürlich fehlen aber auch den Orthogesteinen gefüllte Feldspäte nicht; so dem oben erwähnten Gabbroamphibolit, ebenso den Mürztaler Grobgneisen, bei welchen die Füllung in meinen (allerdings wenig zahlreichen) Schliffen ausschliesslich aus Muskowit besteht. Die Grössenordnung der einzelnen Individuen entspricht hier wieder im allgemeinen der aus dem Engadiner Unterostalpin.

Zieht man die Angaben von ANGEL (2), CHRISTA (10), SPITZ (27), R. STAUB (28), WEINSCHENK und anderen Forschern heran, so gewinnt man den Eindruck, dass die Erscheinung der Feldspatfüllung in den ganzen Ostalpen weit verbreitet ist, mit wenigen Ausnahmen. Weit weniger scheint dies in den Westalpen der Fall zu sein; vgl. CHRISTA, S. 584. Neben den oben erwähnten Beispielen aus der (ja bereits „westalpinen“) Fedozserie dürften dahin die „Saussurite“ aus den von SCHÄFER (23) beschriebenen Walliser Gabbrogesteinen gehören, die ja das genaue Gegenstück zu den Umwandlungserscheinungen in der Fedozserie bieten. Nach manchen Bemerkungen über Sericitisierung, Neubildung von Zoisit usw. zu schliessen, kommen derartige Erscheinungen z. B. in der Adula vor⁵⁾.

Ebenso hebt CHRISTA hervor, dass sie ausseralpinen Gesteinen im allgemeinen abgeht (10, S. 553). Ich habe daraufhin eine grössere Anzahl von Schliffen aus dem Kristallin der böhmischen Masse durchgesehen; dieselben wurden mir teils von Dr. L. WALDMANN aus seinen Aufnahmsgebieten freundlichst zur Verfügung gestellt, teils handelt es sich um Material, das F. E. SUESS gelegentlich seiner Aufnahmen auf den Blättern Trebitsch und Horn gesammelt hat (aus der Schiffsammlung der Geologischen Bundesanstalt). Es zeigte sich dabei, dass gefüllte Feldspäte tatsächlich verhältnismässig selten auftreten; immerhin fanden sie sich in einer Anzahl von Schliffen in einer Ausbildung, die ganz an mir aus den Alpen vertraute Beispiele erinnert;

⁵⁾ Nachträglich beobachte ich sehr ausgesprochene Füllungen (Sericit + Zoisit, z. T. auch Granat) in Schliffen des Monterosagneises.

wohl am schönsten in einem Gabbro aus dem Thayatal bei Hardegg (moravisch), mit erhaltener Erstarrungsstruktur, dessen schön lamellierte Plagioklase im Kern dichte Sericitfülle mit untergeordnetem Zoisit zeigen, während eine breite Randzone davon frei ist. Auch aus den gabbroid injizierten Fugnitzer Kalksilikatschiefern fanden sich einige Beispiele (z. T. Sericitfülle, fein und wenig dicht, dazwischen einzelne grössere Klinozoisit- bis Epidotkörner). Besonders bemerkenswert ist ein Amphibolit von Mällersbach mit grossen, offenbar reliktschen Hornblenden, die von Plagioklaseinschlüssen durchsetzt sind. Diese zeigen Füllung mit unregelmässigen Klinozoisitfetzen. Das umgebende, stark durchbewegte Gesteinsgewebe dagegen zeigt reihenweise geordnete Klinozoisitsäulen neben Albitpflaster. Es ist hier in einem Schriff die Regel zu erkennen, welche alle diese Gesteine — ebenso wie Fedozserie u. a. — beherrscht: gefüllte Plagioklase sind mit starker Durchbewegung meist nur als Relikte verträglich, während letztere die Füllungsmineralien selbständig macht. — Ganz ähnliche Erscheinungen zeigen floititische Tonalitgneise vom Blatt Horn; während bei Amphiboliten aus der Gesellschaft des Bittescher Gneises (Strasse Rakschitz-Lissnitz, Blatt Trebitsch) die Füllung grösstenteils aus Sericit besteht. — Auch in den moldanubischen, andalusit- und sillimanitführenden Biotitgneisen von Rosenberg a. d. Moldau u. a. finden sich sericitisch gefüllte Plagioklase, jedoch nur im kleineren Teil der Schriffe.

Aus Norwegen hat V. M. GOLDSCHMIDT schon vor 20 Jahren einen Granit beschrieben, dessen Plagioklase bei vollkommen unveränderter Erstarrungsstruktur Füllung mit Epidot bzw. Klinozoisit und Muskowit zeigen (Grundplagioklas fast reiner Albit); nach der Beschreibung scheinen sie den aus Oberengadiner Graniten bekannten vollkommen zu entsprechen (18, S. 5f.; ganz übereinstimmend mit diesen wird auch dort bei Auswalzung der K-Feldspat bloss zertrümmert, S. 17). — Norwegische Labradorfelse (von Haukeland), deren Feldspäte mit Zoisitnadeln gefüllt sind (ähnlich, nur feiner als in der Fedozserie), sind mir aus der Schrifksammlung der Geologischen Bundesanstalt bekannt geworden. „Saussurit“ wird ja auch sonst in Arbeiten über norwegische Gesteine vielfach erwähnt.

Endlich sei noch hingewiesen, dass in Anatolien nach ANGEL echte Füllung vorkommt, in sauren Plagioklasen sowohl granitischer Gesteine (3, S. 96) wie von Porphyroiden (S. 92).

Die angeführten Fälle — die sich sicher noch vermehren lassen werden — zeigen deutlich, dass die Erscheinung auch in ausser-

alpinen Gebieten⁶⁾ eine nicht unbeträchtliche Verbreitung besitzt, wenn sie auch gewiss verhältnismässig weniger hervortritt als in den Ostalpen. Worauf das möglicherweise beruht, soll zum Schluss kurz angedeutet werden (S. 28). Jedenfalls geht es nicht an, die Sache zu einer rein alpinen Angelegenheit zu stempeln und auf ihr Auftreten eine besondere „alpine“ Gesteinsfazies zu begründen⁷⁾.

V. BEZIEHUNGEN ZUR DURCHBEWEGUNG?

Es dürfte aus dem bisher Mitgeteilten zur Genüge hervorgehen, dass sich gefüllte Plagioklase am schönsten ausgebildet gerade in solchen Gesteinen finden, deren primäre Erstarrungsstruktur (event. auch Kontaktstruktur usw.) vollständig intakt erhalten ist; die also unter Durchbewegung nicht gelitten haben.

Die Einwirkung der Durchbewegung besteht nun zunächst darin, dass an Stelle der gefüllten Plagioklase Ströme von zertrümmertem Albit und von Füllungsmineralien treten, die alsbald „mechanisch sortiert“ werden und sich parallel zur Fliessebene anordnen. So in den Myloniten des Engadins oder der ostalpinen Wurzelzone (Brusio), noch meist ohne Sammelkristallisation. In den ausgewalzten Gabbros der Fedozserie tritt diese hinzu — wie ich zur Vermeidung von Missverständnissen neuerdings betonen möchte — nicht als Wirkung der Durchbewegung an sich (denn warum fehlte sie sonst den obigen Myloniten?), sondern der gleichzeitig oder in der Folge herrschenden Temperatur- und Lösungsverhältnisse.

Eine schwierige Frage ist die nach dem zeitlichen Verhalten von Durchbewegung und Füllungsmineralien: waren diese bereits vorhanden oder sind sie erst während, event. auch nach der Durchbewegung entstanden?

R. STAUB hat die Frage im ersten Sinne beantworten zu können geglaubt (28, S. 79). Allein sein Argument ist nicht stichhaltig: „Die Tatsache, dass in nur kataklastischen Graniten solche Sericitaggregate noch deutlich rektanguläre Feldspatformen besitzen, also keine Spur einer Mylonitisierung aufweisen“, deutet keineswegs „mit Sicherheit darauf hin, dass die Umwandlung der Feldspäte schon vor

⁶⁾ Das letzte Beispiel gehört allerdings zwar nicht dem Alpengebirge, aber doch der alpinen Faltungzone an.

⁷⁾ Nach Abschluss des Manuskripts finde ich auf S. 27 der Arbeit von ST. GHICA-BUDESTI (*Etudes géologiques et pétrographiques dans les Muntii Lotrului*; Anuarul Institutului geologic al României 16, 1931 [1932]) eine Beschreibung ganz ähnlicher Erscheinungen aus Plagioklasen granitischer Gesteine des Parâng-gebiets (Südkarpathen).

Beginn der Mylonitisierung stattgefunden hat“; sie lässt sich vielmehr mit demselben Recht so auslegen, dass die Sericitisierung der Zertrümmerung, die in dem angeführten Falle die Feldspäte unverseht gelassen, erst nachgefolgt ist⁸⁾). Die gegenseitige Unabhängigkeit beider Erscheinungen mag man daraus ablesen; ihr zeitliches Verhältnis wird sich jedoch grundsätzlich niemals an unbeschädigten, sondern nur an deformierten Feldspäten nachweisen lassen. In der Praxis freilich bestehen auch da Schwierigkeiten: lässt doch angesichts der meist sehr geringen Grösse und dichten Häufung der Füllungsmineralien jedes Kriterium im Stiche, das sonst den Ausschlag geben könnte, ob vor-, nach- oder parakristalline⁹⁾ Deformation vorliegt. Sieht man aber, was häufig der Fall, den Muskowit bzw. Zoisit als Auskleidung von Scherflächen und Rissen in den zertrümmerten Feldspäten, so mag man einwenden, dass dies eine von der Füllung, die ja nicht an solche Rupturen gebunden, vollständig unabhängige Sache sei; dass mithin auf das relative Alter der letzteren daraus noch kein Rückschluss möglich ist.

Tatsächlich kann ich denn auch von keinem meiner Engadiner Mylonitschliffe mit Bestimmtheit sagen, ob die Mylonitisierung die Füllung der Feldspäte bereits vorgefunden hat oder nicht.

In anderen Gebieten bin ich z. T. in besserer Lage. So besitze ich von Tonalitgneisen und Gabbroamphiboliten Schliffe aus dem Glocknergebiet mit Zerfall des Plagioklases in rundliche Teilindividuen — wohl infolge von mechanischer Zerlegung mit überdauernder Kristallisation. Und jedes dieser Teilindividuen besitzt im Kern sein mehr oder minder deutlich abgegrenztes Häufchen Füllungsmineralien! Deren Bildung ist hier also ganz zweifellos jünger als der Kornzerfall. Verallgemeinern lässt sich das ja nicht, denn in anderen Schliffen auch gleichartiger Gesteine setzt die Füllung als einheitliche Wolke über die Grenzen der Teilkörner hinweg. Aber gerade das Nebeneinander beider Arten räumlicher Verknüpfung macht es wahrscheinlich, dass Kornzerfall und Entstehung der Füllung zeitlich sehr nahe zusammenrücken und wohl auch ineinandergreifen.

Ein anderes Beispiel bietet ein Schliff von Mürztaler Grobgnais

⁸⁾ Sonderbarerweise hat CHRISTA (10, S. 572) diesen Trugschluss STAUB'S nicht beachtet und beruft sich auf das obige Zitat.

⁹⁾ Deformationsverglimmerung (SANDER, 22, S. 206) konnte ich nie beobachten, so viele Schliffe mit deformierten Feldspäten ich auch schon unterm Mikroskop hatte. Allzu häufig wird diese Erscheinung also wohl nicht sein.

mit stark ausgewalzten, fast bandförmigen Plagioklasen. Sie zeigen keinerlei rupturale Erscheinungen, sind also vollständig rekristallisiert — dabei mit lockerer Füllung aus feinen Muskowitschüppchen versehen. Diese kann nicht gut bereits vor der Deformation gewesen sein — sonst hätte die Rekristallisation auch den Füllungsmuskowit ergreifen und (durch Sammelkristallisation) zu wenigstens annähernd ähnlicher Grösse heranwachsen lassen müssen, wie sie das gleiche Mineral ausserhalb der Feldspäte zeigt. Es ist hier also auch die Auswalzung der letzteren älter als die Füllung; wobei freilich hier die Möglichkeit besteht, dass beide zeitlich weit auseinanderliegen, sogar verschiedenen Gebirgsbildungsperioden zugehören.

Es gibt aber einen indirekten Weg, der ein Zusammenwirken zwischen den Vorgängen, die zur Feldspatfüllung führen, und der Durchbewegung immerhin mit grosser Wahrscheinlichkeit erschliessen lässt. Während nämlich in nicht durchbewegten Gesteinen Reste von nur mangelhaft gefüllten Plagioklasen immer noch hin und wieder vorkommen, stellenweise sogar recht häufig sind, pflegen sie in stark durchbewegten vollständig zu fehlen: da gibt es nur mehr Ströme von Sericit, Zoisit und Albitfragmenten, die bei entsprechenden Bedingungen (Fedozserie, Tauern; auch moravische Zone!) sich unter Kornvergrösserung weiterbilden zu einem rein kristalloblastischen Gewebe, meist mit mehr oder minder deutlichem Lagenbau. Aus diesem Grunde ist es — beiläufig bemerkt — leicht einzusehen, dass sich die schönsten Beispiele gefüllter Feldspäte in Gesteinen mit nicht oder nur wenig umgestalteten Erstarrungsstrukturen finden müssen: starke Durchbewegung und gefüllte Feldspäte schliessen sich im wesentlichen geradezu aus — es sei denn, dass die Füllung erst ausgesprochen posttektonisch entstanden ist (wie oben im Falle des Mürztaler Grobgneises). Wir können also sagen: zur Umwandlung der Plagioklase, die sich in der „Füllung“ ausdrückt, ist zwar Durchbewegung durchaus nicht erforderlich; doch trägt diese zu einem vollständigen Verlauf des Vorganges jedenfalls bei — freilich unter meist totaler Umgestaltung des räumlichen Verbandes.

Bemerkt mag hier noch sein, dass — übereinstimmend mit der Angabe KÖLBL's (20 a, S. 54) betr. Tauerngneise — auch in solchen stärkst umgeformten Gesteinen den K-Feldspäten jede Spur einer analogen Umwandlung abgeht. Ich besitze Schiffe sowohl aus dem Juliergebiet als auch (besonders schön) aus der unterostalpinen Wurzelregion im Veltlin, wo sich Mikrokline und Mikroperthite in-

mitten wilder Sericit-Zoisitströme von Plagioklas-Herkunft vollkommen unversehrt — chemisch; mechanischer Zertrümmerung sind sie nicht entgangen! — erhalten haben. Auch Umwandlung in Schachbrettalbit konnte ich nur als ganz seltene Ausnahme (12, S. 280) feststellen. — Wie sich mit dieser Resistenz der Kalifeldspäte die Tatsache vereinbaren lässt, dass es Sericit- und Muskowit-Quarzschiefer (ohne Feldspatrelikte!) gibt, die nur aus K-Feldspat-führenden Orthogneisen unter gesteigerter Durchbewegung hervorgegangen sein können — sowohl aus dem Semmeringgebiet als auch aus dem Granatspitzkern in den Hohen Tauern kenne ich solche — das ist ein Dilemma, dessen Lösung weitere Beobachtungen erfordert.

VI. ZUR GENESE

CHRISTA schreibt (10, S. 578): „Die gelegentlich hervorgetretene Anschauung, dass es sich hier um einen durch Verwitterung hervorgerufenen bedeutungslosen Zersetzungs Vorgang handeln könne, wird derjenige von vornherein ablehnen, der die Mikrolithenschwärme einmal in ganz typischer Ausbildung gesehen hat.“ Diesen Satz kann ich unbedingt unterschreiben, soweit es sich um die verhältnismässig gröbere Ausbildung des Phänomens handelt, wie sie in den Tauern oder z. T. in der Fedozserie verbreitet ist. Dagegen macht die viel feinere Ausbildung, wie sie im Engadin usw. fast allgemein herrscht, immerhin eine Diskussion der Frage notwendig, ob nicht an ihrer Entstehung gewöhnliche Oberflächenverwitterung beteiligt sein kann; dass diese Mineralien wie Sericit und Klinozoisit schaffen kann, steht ja heute (vgl. 19 a, S. 85 f.) fest.

Tatsächlich ist es ja überall in unserem Klima recht schwer, Material zu sammeln, bei dem man sich auf Unberührtheit von Verwitterungseinflüssen unbedingt verlassen kann; soweit nicht künstliche Aufschlüsse zur Verfügung stehen. Insbesondere gilt dies fürs Hochgebirge, wo es meist ganz unmöglich ist, solches Material vom anstehenden Fels zu bekommen, während erfahrungsgemäss das Material der Schutthalden meist besser, weitaus am besten aber das der Moränen erhalten ist¹⁰⁾. Wenn ich nun z. B. in einem Moränenblock des pyritisierten Granitporphyrs von der Tschima da Flix den Plagioklas vollkommen mit Sericit erfüllt, ein Verwitterungseinflüssen so zugängliches Mineral wie den Pyrit hingegen vollkommen unver-

¹⁰⁾ Eine Erklärung für diese vielfach beobachtete Tatsache fehlt mir; denn dass die ständige Abkühlung auf Nulltemperatur während des Gletschertransports dermassen konservierend wirkte, wird man doch kaum annehmen können.

ändert finde, so deutet dies schwerlich darauf hin, dass die Sericitisierung eine Folge von Verwitterung wäre. Ebenso sprechen zwei Tatsachen der Verbreitung dagegen: Im Albulagebiet sind wir in der glücklichen Lage, einen tiefen (bis fast 1000 m unter der Oberfläche!) künstlichen Aufschluss in Gestalt des Albulatunnels zu besitzen; und das aus diesem geförderte Granitmaterial, das doch sicher von Oberflächenverwitterung frei¹¹⁾ ist, zeigt die gleichen lebhaft grünen sericiterfüllten Plagioklase, wie das zu Tage anstehende. Und anderseits: die Berge des Bergeller Massivs befinden sich doch genau unter den gleichen klimatischen Bedingungen wie etwa die südlichen Vorlagen der Berninagruppe (Scalino-Painale). Warum herrschen dann in den Graniten und Dioriten der letzteren durchwegs gefüllte Plagioklase, während sie in den gleichartigen Gesteinen der ersteren nur als seltene Ausnahme vorkommen?

Ich glaube, diese Tatsachen zeigen eindringlich genug, dass es sich da im Ganzen genommen nicht einfach um eine Verwitterungserscheinung handeln kann. Allerdings ist vielleicht das letzte Wort darüber noch nicht gesprochen, ob nicht Verwitterung auch ähnliche Erscheinungen hervorzubringen vermag; es bedürfte dazu einer systematischen Untersuchung von Verwitterungsprofilen am anstehenden Fels. Die Beobachtung, dass der Prozess der „Saussuritisierung“ bei Oberflächenverwitterung fortgesetzt wird (19 a, S. 92), scheint immerhin für die Möglichkeit zu sprechen.

Vor 20 Jahren glaubte ich (11, S. 401, 496) die Erscheinung als säkuläre Verwitterung ansprechen zu sollen: als Folge der Instabilität der Plagioklase bei niedriger Temperatur. R. STAUB (28, S. 79) hat diese Erklärung aufgegriffen und in dem Sinne gedeutet, dass die Entmischung der Feldspäte lange vor der alpinen Orogenese erfolgt sei, in den Zeiten des Mesozoikums, da die Granite usw. des Engadins ihrer primären Hülle beraubt und an oder in die Nähe der Erdoberfläche gerückt gewesen seien. Er stützt sich dabei auf die — wie wir oben (S. 15) sahen, nicht beweisbare — Ansicht, dass die Sericitisierung usw. älter sei als die mechanische Deformation. CHRISTA (10, S. 579) hat gegen STAUB's Erklärung mit Recht ein-

¹¹⁾ Leider gilt dies gerade von dem von ZÜST (31, S. 15) analysierten Albulagranit nicht ohne Einschränkung: sein Probestück ist nur 600 m vom Südportal geschlagen, stammt also von einer Stelle unter den mächtigen Schutthalden bei Prasüratsch und höchstens 70—80 m, vielleicht aber noch wesentlich weniger unter der Felsoberfläche. Es wäre immerhin denkbar, dass Tageswässer auf Klüften dahin eingedrungen wären. Tatsächlich erwähnt ZÜST auch Adern von Epidot und Calcit, von denen namentlich der letztere wohl auf Unfrische im herkömmlichen Sinne schliessen lässt.

gewendet, dass „in ausseralpinen Granitgebieten, wo die genannten Voraussetzungen weit eher ¹²⁾ nachzuweisen wären, das Mikrolithenphänomen eine nicht geringere Verbreitung zeigen müsste als in alpinen Gebieten“.

Ich glaube schon seit langem jene STAUB'sche Deutung — der ich selbst anfänglich zuneigte — fallen lassen zu müssen, aus dem von CHRISTA angedeuteten wie aus anderen Gründen (vgl. oben); keineswegs aber die Annahme einer sekundären Entstehung der Plagioklasfüllungen überhaupt, wie sie z. B. von BECKE (6, S. 123) schon lange vertreten worden ist. Bevor ich dazu übergehe, sie in der heute am besten scheinenden Fassung darzulegen, sei noch kurz betrachtet, was CHRISTA und KÖBL an ihre Stelle setzen möchten.

Ersterer nimmt WEINSCHENK's Hypothese der Piezokristallisation wieder auf mit der Annahme, die Plagioklase seien im Augenblick der Ausscheidung zerfallen einerseits in Albit, anderseits in Kalktonerdesilikate, die unter der Herrschaft erhöhten Druckes, der mit der alpinen Orogenese in Zusammenhang gebracht wird, ein möglichst kleines Molekularvolumen angenommen hätten (Zoisitminerale statt Anorthit); ausserdem wäre noch die Mitwirkung alkalihaltiger Lösungen für die Bildung des Muskowits notwendig (10, S. 580 ff.). Insbesondere beruft sich CHRISTA darauf, dass auch die Plagioklaseinschlüsse einheitlicher Kalifeldspäte in gleicher Weise mit Einschlüssen erfüllt sind wie die ausserhalb befindlichen (10, S. 570), was ihm mit einer sekundären Entstehung zumal unter „Stresswirkung“ nicht vereinbar scheint.

CHRISTA's Auffassung, wonach die Entstehung der gefüllten Feldspäte liquid-magmatische Zustände voraussetzt, fällt in sich zusammen angesichts des Umstandes, dass jene keineswegs an unveränderte Erstarrungsgesteine gebunden sind, sondern z. T. in ganz gleicher Ausbildung auch in allen möglichen metamorphen Gesteinen, darunter vielfach unzweifelhaft sedimentogenen, auftreten; dafür wurden oben eine Reihe von Beispielen aus verschiedenen alpinen Gebieten, sowie aus der böhmischen Masse angeführt. Da in diesen nur eine sekundäre Entstehung möglich ist, liegt kein Anlass vor, für die gleichartigen Gebilde in strukturell wenig oder nicht veränderten Massengesteinen etwas anderes anzunehmen.

Was aber speziell das Beispiel betrifft, von welchem hier aus-

¹²⁾ Dies ist wohl zu viel behauptet: sind doch die Engadiner Granite nachweislich (Breccienbildungen!) schon vortriadisch, dann im Lias, Malm und wohl auch in der Kreide z. T. freigelegen.

gegangen wird: die Massengesteine des Albula-Julier- (und ebenso des Bernina-) Gebietes, so versagt hier CHRISTA's Erklärung auch deshalb, weil die alpine Orogenese da auf gar kein sich verfestigendes Magma mehr wirken konnte; denn wie Gerölle in verschiedenen klastischen Ablagerungen beweisen, fällt die Erstarrung jener Gesteine bereits weit vor den Beginn des Mesozoikums.

Auch die Abbildung einer Zonarstruktur des Feldspats durch Wechsel in der Beschaffenheit der Füllung (vgl. S. 8) bietet für CHRISTA eine wohl kaum überwindliche Schwierigkeit (vgl. dazu auch BECKE, 6 b).

Es erheben sich aber auch noch andere grundsätzliche Bedenken gegen die WEINSCHENK-CHRISTA'sche Hypothese. So scheint die Bedeutung des sogen. Volumgesetzes für die Bildung der Füllungsmineralien stark überschätzt (wie dies ja auch in der BECKE-GRUBENMANN'schen Theorie der kristallinen Schiefer der Fall ist). Ich habe an anderer Stelle darauf hingewiesen (15, S. 46), dass die Mineralien der obersten Zone so ziemlich alle auch auf Klüften vorkommen, wo von einer besonderen Stresswirkung wohl nicht die Rede sein kann; warum also bei ihren Vorkommen im Gestein eine solche annehmen? Es ist auch zu bedenken, dass die Plagioklase in meinen wie in CHRISTA's Beispielen verhältnismässig früh ausgeschiedene, idiomorphe Gemengteile, z. T. sogar frei schwebend im Magma kristallisiert sind; der Druck hätte also in erster Linie auf die zwischenlagerte flüssige Phase wirken müssen — und da sieht man davon nichts.

Endlich ist es überhaupt nicht zu verstehen, wie ein grösserer Magmakomplex während seiner Erstarrung — zumal er zu dieser sicher recht lange Zeit braucht — „orogenetischem Stress“ ausgesetzt sein kann, ohne durch diesen deformiert zu werden. Den umgebenden festen Massen widerfährt dieses Schicksal — das eingeschaltete Magma, das dazu vermöge seiner Flüssigkeit in erster Linie prädestiniert ist, kann ihm doch unmöglich entgehen! Man müsste also in allen Fällen mindestens sehr ausgeprägte Fliesstexturen erwarten als Ergebnis einer solchen Verknüpfung — die aber den Albula-Juliergraniten usw. (von vereinzelt Ausnahmefällen abgesehen) durchaus abgehen. Und betrachten wir ein Massengestein, dessen Intrusion nachweislich¹³⁾ in die Zeit der alpinen

¹³⁾ Es soll damit übrigens weder behauptet sein, dass der Disgraziatonalität während einer orogenen Phase intrudiert worden, noch dass die obigen Besonderheiten auf deren Rechnung zu setzen seien; für beides steht ein Beweis einstweilen aus, wenn auch die Möglichkeit zweifellos besteht.

Orogenese fällt: den Tonalit des Disgraziamassivs, so sehen wir in diesem zwar in grosser Ausdehnung Paralleltexur und auch im Mineralbestand eine Besonderheit in Gestalt von primär ausgeschiedenem, idiomorphem Epidot (13), aber keine Spur¹⁴⁾ von Feldspatfüllungen, wie sie hier beschrieben sind; denn die manchmal die Plagioklase durchdringenden Ansammlungen grosser Epidotkristalle (nicht Zoisit!) sind mit jenen überhaupt nicht zu vergleichen.

Ich muss somit die WEINSCHENK-CHRISTA'sche Erklärung der gefüllten Feldspäte ablehnen.

KÖLBL hat dieselbe — ebenfalls für Tauern-Zentralgneise — dahin modifiziert, dass er die Muskowite, Zoisite etc. in den Plagioklasen zwar nicht als primäre Einschlüsse auffasst — insbesondere die verschiedene Intensität der Erscheinung im gleichen Gestein, die ich für das Engadin bestätigen kann, scheint ihm dagegen zu sprechen, ebenso die trotz des angeblichen Zerfalls in statu nascendi öfters schön idiomorphe Ausbildung der Plagioklase. Sondern er lässt die auskristallisierten Plagioklase noch vor der Abscheidung von K-Feldspat und Quarz zerfallen, unter der Einwirkung von Restlösungen. Er sieht darin also eine Art von pneumatolytischer Autometamorphose, die noch während des letzten Abschnittes der Verfestigung erfolgt wäre (20 a, S. 49 f.). CHRISTA's gefüllte Plagioklaseinschlüsse in K-Feldspat machen einer solchen Auffassung selbstverständlich keine Schwierigkeiten; ebenso wenig das Auftreten gleichartiger Füllungen in Nachbargesteinen anderer Herkunft, da ja — was auch KÖLBL betont — die pneumatolytischen Prozesse auch die Nebengesteine weithin in Mitleidenschaft gezogen haben können.

Die Erscheinungen im Albula-Juliergebiet liessen sich nun vielleicht auch auf ähnliche Weise erklären — aber nur mit einiger Gewaltbarkeit. Z. B. macht das oben erwähnte Auftreten gefüllter Plagioklase in Myrmekiten Schwierigkeit — selbst wenn man in diesen nicht eine spätere metamorphe Zutat, sondern eine Verdrängungserscheinung aus dem allerletzten Abschnitt der Gesteinsverfestigung erblickt (wie mir das angesichts des Vorkommens in zahlreichen gar nicht metamorphen Graniten richtiger scheint). Ebenso sind in den Granitporphyren auch noch die Grundmassenplagioklase ganz ebenso „gefüllt“ wie die Einsprenglinge. Beides sieht mehr danach aus, dass die Umwandlung der Plagioklase der Gesteinsverfestigung nachgefolgt wäre, als dass sie mit ihr intermittiert hätte. Auch in den jüngsten basischen Gängen sind die Plagioklase noch gefüllt. Nun, mit der Hilfsannahme, dass die Abgabe der Rest-

¹⁴⁾ Wenigstens in meinen Schliffen!

lösungen die Verfestigung des Granits entsprechend lange überdauert hätte, kommt man da noch aus. Entscheidend jedoch scheinen mir die oben angedeuteten Beziehungen zur Durchbewegung zu sein: wenn diese die Umwandlung der Plagioklase fördert, so kann diese als Ganzes nicht — im Albula-Juliermassiv! — in einen viel älteren geologischen Zusammenhang hineingehören. Und wie steht es im Falle der Fedozserie, wo nicht einmal ein Granit vorhanden ist, auf den die Restlösungen zu beziehen wären? Denn der Bergeller Granit, dessen eigene Feldspäte normalerweise nicht gefüllt sind, kommt da wohl nicht in Frage. Noch mehr: die weite Verbreitung der Feldspatfüllungen im Gebiete der Epizone spricht wohl dafür, dass sie zu dem ganz normalen Bestand der letzteren gehören — zumal es sich ja bei Sericit und den Zoisit-Epidotmineralien um deren häufigste Neubildungen handelt. Und dabei ist in der Ausbildungsweise ein deutlicher Unterschied festzustellen zwischen Gebieten, in welchen die Sedimente eine starke progressive Metamorphose zeigen (Tauern, Malenco usw.) und solchen, wo dies noch nicht der Fall ist, wie im Engadin: in den erstgenannten ist auch das Korn der Füllungsmineralien vielfach um eine ganze Grössenklasse grösser (dass das Auftreten von Granat auf ihn allein beschränkt zu sein scheint, will ich nicht besonders betonen, da er ja an und für sich selten ist). Das ist ein Unterschied, den KÖLBL nicht erklären kann.

Damit soll nun keineswegs behauptet sein, dass eine pneumatolytische Autometamorphose überhaupt nicht Feldspatfüllungen hervorbringen könne. Für manche alpine Gesteine scheint mir eine solche Annahme sogar am nächsten zu liegen: für die sporadisch auftretenden Füllungen in periadriatischen Tonaliten usw. kann man kaum einen anderen Zusammenhang ausfindig machen.

Für die grosse Mehrzahl der Fälle aber muss ich mit BECKE an einer nachträglichen Entstehung der Füllungen im festen Gestein festhalten; und es seien zunächst die Schwierigkeiten erörtert, die einer solchen Auffassung entgegenstehen.

Das ist einmal die von CHRISTA und KÖLBL hervorgehobene Beobachtung, dass in K-Feldspat eingeschlossene Plagioklase ganz ebenso gefüllt sind wie frei im Gestein vorkommende. Ich kann sie für's Juliergebiet bestätigen; zugleich aber noch erweitern, insofern als nach meiner Erfahrung ganz allgemein Einschlussplagioklase ebenfalls gefüllt sind, wenn dies für die freiliegenden zutrifft. Auch in metamorphen Gesteinen; vgl. z. B. den Amphibolit von Mallersdorf (S. 13); und wenn man hier auch noch die Feldspateinschlüsse samt Füllung als Relikte aus der magmatischen

Vergangenheit des Gesteins ansprechen könnte, so geht dies nicht mehr bei sedimentogenen Gesteinen wie den Granatgneisen der Fedozserie, in welchen gefüllte Feldspäte als Einschlüsse in Quarz vorkommen! Eine Deutung dieses Tatbestandes ist allerdings schwierig¹⁵⁾; indessen genügt er, um dem CHRISTA-KÖLBL'schen Argument seine Beweiskraft zu nehmen.

Eine zweite, bisher noch nicht erwähnte Schwierigkeit besteht speziell im Albula-Juliergebiet insofern, als Gerölle und Bruchstücke der Granite schon in karbonischen (z. T. auch noch älteren?), dann in liasischen, oberjurassischen (Falknisbreccie) und wahrscheinlich kretazischen (Saluverbreccie) grobklastischen Ablagerungen vorkommen und hier die gleichen grünen gefüllten Feldspäte enthalten. Nun, diese Schwierigkeit ist nicht so gross, als sie auf den ersten Blick erscheint: Sofern sie nicht auf sedimentärem oder tektonischem Wege aus dem Bereich der umwandelnden Einflüsse entrückt wurden, mussten diesen die Granite auf sekundärer Lagerstätte geradeso zugänglich bleiben wie auf primärer. (Es gibt da allerdings noch eine weitere Möglichkeit: dass nämlich in den Geröllen der Einfluss des Meerwassers — K-Zufuhr! vgl. unten! — die Umwandlung der Plagioklase hervorgebracht hätte. Dies müsste sich an rezenten Granitküsten, insbesondere warmer Zonen, wohl nachprüfen lassen!) Die Gleichheit der Erscheinung in Muttergestein und Geröllen wäre also erst nachträglich zustande gekommen. Das liesse sich prüfen, wenn es gelänge, Gerölle der gleichen Granite in Gebieten ausserhalb des Bereiches der Umwandlung aufzufinden; aber freilich wird deren Identität sehr schwer nachweisbar sein — gerade wenn ihnen die Feldspatfüllungen noch abgehen. Vielleicht beruht z. T. darauf die Schwierigkeit, Blöcke und Gerölle aus Wildflysch usw. des Alpenrandes mit Kristallin alpiner Innenzonen zu identifizieren.

Wie ich mir die Vorgänge denke, die zur Entstehung gefüllter Feldspäte führen, sei hier nur kurz angedeutet. Ich weiss mich dabei für eine Strecke Wegs einig mit ANGEL, ohne freilich alle seine Schlussfolgerungen unterschreiben zu können.

¹⁵⁾ Eine Beobachtung an einem Schriff von Monterosagneis (Unteres Plattje) vermag vielleicht ein Licht darauf zu werfen: hier sind nahe benachbarte Plagioklaseinschlüsse eines und desselben Mikroklin-Perthits in sehr verschiedenem Grade gefüllt. Sie scheinen demnach auch in verschiedenem Grade zugänglich gewesen zu sein für die umwandelnden Lösungen; das legt die Frage nahe, ob da nicht doch irgendwelche Rupturen des umschliessenden K-Feldspats eine Rolle gespielt haben. Zu sehen sind solche allerdings meist nicht; was natürlich die Möglichkeit nicht ausschliesst, dass sie nachträglich wieder verheilt sind.

Nicht beistimmen kann ich insbesondere — um dies vorauszuschicken —, wenn der genannte Forscher die Muskowit- und Zoisitbildung für gesetzmässig miteinander verknüpft betrachtet¹⁶⁾. Wäre dies der Fall, so könnte es keine Feldspäte geben, in denen bloss Zoisit oder bloss Muskowit als Füllungsmineral vorkommt, was ich ebenso wie CHRISTA beides vielfach beobachtet habe (vgl. oben, S. 8f.). Damit fällt leider die zunächst so bestechende Darstellung des Chemismus des Füllungsvorganges, welche ANGEL (2, S. 46f.) gegeben hat; wenn sie auch fallweise gelten mag, im Ganzen verläuft die Sache doch viel weniger regelmässig. Und damit wird auch leider der von ANGEL angegebenen Methode der Boden entzogen, durch Auszählung der Füllungsmineralien die Zusammensetzung des ursprünglichen Feldspates zu bestimmen.

Einer Meinung mit ANGEL bin ich dagegen, wenn er die Erscheinung auf einen Tiefenstufenwechsel zurückführt (2) und zwar in dem Sinne, dass ein zuvor in tieferer Stufe geprägtes oder auch ein normal erstarrtes und zunächst nicht weiter verändertes Gestein sich den Bedingungen der obersten Tiefenstufe anzupassen genötigt ist: verhältnismässig tiefer Temperatur, mässigem Belastungsdruck. Über das Zeitintervall, in welchem diese Neuanpassung der Erstarrung bzw. der ersten Umformung nachfolgt, ist dabei zunächst gar nichts ausgesagt; es mag vielleicht in einzelnen Fällen recht kurz sein, in anderen aber wohl sehr lang, gleich dem Zeitraum zwischen zwei Gebirgsbildungsperioden; es mag sich wohl auch ein Aufenthalt in Oberflächennähe dazwischen einschieben, wie er für die Engadiner Granite durch Breccienbildungen belegt ist. Massgebend für eine solche Auffassung der Füllung — man kann den Begriff der Diaphthorese darauf anwenden — ist vor allem der Umstand, dass die Füllungsmineralien dieselben sind, die auch sonst der obersten Tiefenstufe ihr Gepräge geben. Nur dass sie hier eben ohne Zerstörung der vorherigen Struktur durch Durchbewegung zur Entstehung kommen; es konnten ja wiederholt Beobachtungen angeführt werden, die erkennen lassen, dass in durchbewegten Gesteinen nur Reliktfeldspäte Füllung zeigen, während ausserhalb Füllungsmineralien und albitischer Plagioklas sich als gleichgeordnete Gemengteile gegenüberstehen, erstere auch z. T. bedeutendere Grösse erreichen. Ich bleibe damit

¹⁶⁾ Wie mir Prof. ANGEL freundlichst mitteilt, will er diese seine Auffassung zunächst nur auf die Tauern bezogen wissen; das gilt natürlich ebenso für alle daran geknüpften Folgerungen.

im wesentlichen bei der Ansicht, die ich schon in meiner ersten Arbeit (11, S. 401, 496) ausgesprochen habe; doch kann ich sie jetzt weiter ausbauen.

Mit dem Tiefenstufenwechsel allein ist es nämlich noch nicht getan; für die Neubildung der Füllungsmineralien bedarf es unbedingt noch der Zufuhr zweier Stoffe, welche der ursprüngliche Plagioklas nicht liefern kann, nämlich Wasser und Kali (die geringen K_2O -Mengen beigemengten Orthoklasmoleküls sind sicher quantitativ nicht ausreichend!); vgl. dazu die Ausführungen von ANGEL, 2, S. 47 f. Ganz folgen kann ich diesen freilich auch hier nicht; gerade für die granitischen usw. Gesteine des Engadins ist die Herkunft des K_2O auf keine der von ANGEL angedeuteten Arten möglich. Denn die Kalifeldspäte zeigen niemals Umwandlung in Muskowit, sind vielmehr selbst in stark verschieferten Myloniten wohl erhalten; auch Umwandlung in Schachbrettalbit findet sich nur ganz ausnahmsweise auch in der südlichen Fortsetzung der unterostalpinen Decken; vgl. 11, S. 280. Er kann somit unmöglich der Kalispender sein — weder für die Plagioklase des eigenen noch für die von Nachbargesteinen.

Wenn man die Kaliquelle in möglichster Nähe, also im Gestein selbst suchen will, so kann man höchstens an die Biotite denken, die ja in wohl der Mehrzahl der Schiffe aus den Engadiner Massiven chloritisiert sind. Aber ganz abgesehen davon, dass diese Quelle vielleicht schon in den Graniten, ganz sicher in manchen biotitarmen bis freien Dioriten nicht ergiebig genug ist — sie versiegt vollkommen dort, wo der Biotit tadellos unverändert erhalten ist; und dies ist doch auch bei einer nicht unbeträchtlichen Anzahl von Schiffen der Fall, in denen es deshalb nicht weniger Sericitfülle gibt!

So bleibt mindestens für einen Grossteil der alpinen gefüllten Feldspäte nur die Möglichkeit einer Zufuhr aus der Tiefe, die sich mit den tektonischen Bewegungen überkreuzt und letzten Endes wohl auch genetisch mit ihnen zusammenhängen wird. Man kann da etwa an die Wirkung von Tiefenintrusionen denken — vgl. TERMIER's „colonnes filtrantes“ (30) und KÖNIGSBERGER's Teleintrusionsmetamorphose (20 a); sowie W. SCHMIDT, 24, S. 47 — in deren weiterer Umgebung sich die Dinge ungefähr so, wie ANGEL ausführt, abgespielt haben könnten. Ob freilich in der Gesamtheit der Tauerngneise solche syntektonische Intrusivmassen vorliegen, wie nach ANGEL (1 a) bzw. ANGEL-HERITSCH (5) anzunehmen wäre, das scheint mir doch noch sehr fraglich; dass manche Erscheinungen, die CHRISTA (10, S. 543 f.) aus dem Zillertal und KÖLBL (20) von dem NE-Ende der Venedigermasse beschreibt, für deren jungintrusive Natur sprechen,

sei dabei keineswegs verkannt. Wie dem aber auch sei — für die Engadiner Massive und ihre südliche Fortsetzung (und für die Fedozserie) könnten wir nur auf hypothetische Intrusivmassen in unbekannter Tiefe schliessen.

Es besteht aber noch die weitere Möglichkeit, dass die zugewanderten Stoffe — mindestens teilweise — gar nicht magmatischen Ursprungs sind, sondern aus tiefern metamorphen Zonen herkommen. Ähnliche Gedanken finden sich schon bei GOLDSCHMIDT (18), BECKE (7; 8), ANGEL (1), sowie bei MOHR (21, „pseudojuvenile Entgasung“) und BERG (9, „profunde Zirkulation“); auch von mir wurde schon einmal (15) darauf hingewiesen. Gebirgsbildung bedeutet ja Versetzung gewaltiger Gesteinsmassen in tiefere, heissere Horizonte der Erdrinde; und es ist nur zu erwarten, dass der an ein oberflächennäheres Niveau angepasste Gehalt an flüchtigen Bestandteilen, welchen sie in ihre neue Lage mitbringen, dort zum grösseren Teil nicht dauernd verbleiben wird. Vor allem gilt dies vom Wasser — sei es nun Kapillar- oder chemisch (in Verbindungen, die bei hoher Temperatur instabil werden) gebundenes Wasser.

(Selbstverständlich bedeutet Aufdringen von Magmen für ihre Umgebung ungefähr dasselbe: Versetzung in eine heissere Region — nur meist in beschränkterer räumlicher Ausdehnung.) Das Wasser wird aber unweigerlich sich mit anderen Stoffen beladen und als gesättigte Lösung aufsteigen — fähig, in den Gesteinen, die es passiert, Mineralum- und -neubildungen hervorzubringen, bei denen Stoff u. U. von weither zugeführt wird¹⁷).

¹⁷) Wenn man gegen derartige Gedankengänge einwendet (W. SCHMIDT, 24 — der übrigens auch nicht ganz auf die Mitwirkung zirkulierender Lösungen verzichten kann!), dass die Gesteinsgrenzen im allgemeinen unverwischt geblieben und die Absätze in Klüften usw. im Einklang seien mit dem Gestein, in dem sie sich finden, so ist beides nur bedingt richtig. So ist z. B. schon vielen Beobachtern der Reichtum an Quarzadern in den unterostalpinen Triasdolomiten des Engadins aufgefallen; ROTHPLETZ wollte ihn sogar stratigraphisch auswerten. Mir scheint, dass er aus den umgebenden bzw. liegenden kristallinen Gesteinen stammen dürfte! Und die Grenzen z. B. zwischen Phylliten und Kalkglimmerschiefern in den Tauern sind oft alles andere als scharf. — Im übrigen ist zu bedenken, dass die Zirkulation senkrecht zu den Strukturflächen — mithin auch zu den Gesteinsgrenzen — ungemein langsam vor sich gehen wird, die Lösungen also vielfach Zeit haben werden, sich mit dem benachbarten Gestein ins Gleichgewicht zu setzen (Spaltenabsätze usw. stammen ja im allgemeinen aus einer späten Phase der tektonischen Geschichte!). Immerhin, wenn wir ihnen einen Aufstieg von nur 10 cm im Jahr zubilligen, so werden 10 km in 100 000 Jahren durchstiegen; sie können also noch leicht im Verlauf der betr. orogenen Phase bis in oberflächennahe Zonen gelangen.

Wo die betreffenden Stoffe abfiltriert wurden, das hängt davon ab, was für Gesteine sie zu passieren haben und unter was für Bedingungen diese stehen. Ein Gestein mit Plagioklasen z. B., die bei den herrschenden Bedingungen stabil sind, wird weder H_2O noch K_2O an sich ziehen¹⁸⁾. Wohl aber wird dies in höheren Zonen geschehen, wo die Stabilitätsgrenzen der Plagioklase überschritten sind; und ganz besonders dann, wenn diese einer Durchbewegung unterworfen sind oder waren, die ihre Raumgitter deformiert hat. Es ist also leicht einzusehen, dass die deformierten und zertrümmerten Plagioklase durchbewegter Gesteine am vollständigsten umgewandelt werden, wenn die umwandelnden Lösungen auf sie treffen. „Füllungen“ entstehen dabei naturgemäss nicht, da ja die ganzen Kristalle nicht als solche weiterexistieren. Aber auch unbeschädigte Plagioklase in gleicher tektonischer Situation entgehen zumeist nicht dem gleichen Schicksal — mit dem Unterschiede, dass das mechanisch unversehrte Kristallgebäude nicht zusammenbricht. Das albitische Bauwerk ist offenbar stabil genug, um bestehen zu bleiben, trotz der weitgehenden Umgruppierung und dem teilweisen Austausch des anorthitischen Bestandteils des Mischkristalls¹⁹⁾. So kommt eben das zustande, was wir als „Füllung“ der Plagioklase kennen gelernt haben; und es ist leicht zu begreifen, dass sich dieselbe vor allem in undurchbewegten Gesteinspartien, bzw. in unverletzten Relikten durchbewegter Gesteine findet; selbstverständlich auch in metamorphen Gesteinen aus tieferen Stufen, deren Feldspäte ihre Form beim Übergang in die obere gewahrt haben. Aber jedenfalls scheint mir die Erscheinung nicht abtrennbar von der, was die Art der entstehenden Neubildungen betrifft, gleichartigen Umwandlung der Feldspäte in durchbewegten Gesteinskörnern.

¹⁸⁾ Von der Möglichkeit, dass dies von Seiten anderer Gemengteile geschieht — Umbildung von Chlorit oder Hornblende zu Biotit — sei an dieser Stelle abgesehen.

¹⁹⁾ Die Schwierigkeit, wieso die zugewanderten Bestandteile in das Innere unbeschädigter Plagioklase hineinkommen — die sich übrigens auch bei anderen Mineralumbildungen z. T. in ähnlicher Weise findet — löst sich vielleicht mit Hilfe der oftmals in anderem Zusammenhang herangezogenen Tatsache, dass die Neubildungen ein höheres spezifisches Gewicht haben, mithin weniger Platz einnehmen als der für sie verbrauchte Anorthit. Durch die — ohne Änderung der äusseren Form, also ganz in seinem Innern erfolgte! — Schrumpfung wurde der Kristall in allen seinen Teilen zugänglich für die eindringende Lösung; darum sind die Neubildungen nicht von Spaltissen abhängig. (In anderen Fällen — Serpentinisierung von Olivin z. B. — hat bekanntlich ihr gegenteiliges Verhalten einen entsprechenden Effekt: der Kristall wird durch das grössere Platzbedürfnis der Neubildungen zersprengt und auf diese Weise für die Umwandlung vollständig erschlossen.)

An die obere Tiefenstufe sind nach dem Gesagten gefüllte Plagioklase gebunden; und zwar wesentlich an solche Teile derselben, in denen Durchbewegung keine durchgreifende Gesteinsumformung zu erzielen vermochte — denn hier verläuft die Umwandlung der Plagioklase radikaler —, sondern auf einzelne Gleitflächensysteme beschränkt blieb. Wir gelangen so zu der Vorstellung, dass es im Querprofil des Gebirges eine optimale Zone für die geschilderte Umwandlung gibt, begrenzt nach unten durch das Überhandnehmen allgemeiner Durchbewegung und weiterhin durch die Temperaturen, bei denen die Plagioklase stabil werden, nach oben durch das Sinken der Temperatur (und damit der Reaktionsgeschwindigkeit!), sowie des Druckes, unter dem die Lösungen stehen. Immerhin geht unsere optimale Zone nach oben über den Bereich progressiver metamorpher Neubildungen wohl hinaus: das Kristallin der Silvretta z. B. scheint nach den Angaben STRECKEISEN'S (29) noch dazu zu gehören, während doch die mesozoischen Sedimente in seinem Liegenden z. T. schon nicht einmal mehr Spuren von Metamorphose zeigen.

Man wird einwenden, dass diese optimale Zone, wenn sie nach dem Vorausgegangenen an eine gewisse Entfernung von der Oberfläche gebunden ist, nicht dauernd die gleiche Lage behalten könne, sondern mit dem Fortschreiten der Abtragung in grössere Tiefen verlegt werden müsse. Das ist gewiss richtig; aber es ist damit noch lange nicht gesagt, dass alsdann auch noch umwandelnde Lösungen zur Verfügung stehen müssen. Einmal wird sich deren Vorrat erschöpfen; und speziell wenn ihr Ursprung nicht magmatisch, sondern auf „pseudojuvenile Entgasung“ zurückzuführen ist, muss er sich erschöpfen mit dem Abflauen der Gebirgsbildung: sobald keine Masseneinsaugung nach der Tiefe und keine grossen Überdeckungen mehr vor sich gehen. Die fortschreitende Abtragung wird demnach zwar wohl da und dort, aber nicht stockwerkweise mit einer Tieferlegung der Zone gefüllter Feldspäte einhergehen; und man wird das sporadische Auftreten solcher in Gegenden, denen sie sonst fehlen (z. B. in der Innenzone der Schweizer Alpen), vielleicht auf diese Weise erklären können. Man kann also sagen, dass nicht nur eine optimale Zone, sondern auch eine optimale Zeit (in Beziehung zu den gebirgsbildenden Vorgängen) in Betracht kommt.

Damit wird zugleich auch die relative Seltenheit der Erscheinung in ausseralpinen, älteren Gebirgen verständlich: diese sind im allgemeinen viel tiefer abgetragen als die Alpen — die optimale Zone

dürfte vielfach durch Abtragung bereits verschwunden sein. Es ist ja auch schliesslich bis zu einem gewissen Grade Zufall, wenn sich in der optimalen Zone gerade so für Feldspatfüllung geeignete Gesteine finden wie die Engadiner Granite — die moldanubischen Glimmerschiefer z. B. sind sicher bei weitem nicht so günstig! Die meisten grossen Granitmassen z. B. des variszischen Gebirges aber verhalten sich zur dortigen Gebirgsbildung entsprechend wie die periadriatischen Tonalite und Granite zur alpinen: wenn sie auch nach CLOOS u. a. nicht post-, sondern noch infratektonisch intrudiert sind — für die Vorgänge, welche zur Feldspatfüllung führten, kamen sie im allgemeinen zu spät.

Wien, April 1932.

LITERATUR

1. ANGEL, F., Das Gleinalmgebiet als metamorphe Einheit. N. J. f. Min., B.-Bd. 51, S. 213.
- 1a. — Gesteine vom südlichen Grossvenediger. Ebendort, B.-Bd. 59, Abt. A, 1929, S. 223.
2. — Über Plagioklasfüllungen und ihre genetische Bedeutung. Mitt. Naturwiss. Ver. f. Steiermark 67, 1930, S. 36.
3. — Aus der Gesteinswelt Anatoliens. N. J. f. Min., B.-Bd. 62, Abt. A, 1930, S. 57.
4. ANGEL, F., und HERITSCH, F., Das Alter der Zentralgneise in den Hohen Tauern. Cbl. f. Min. 1931, Abt. B.
6. BECKE, F., Petrographische Studien am Tonalit der Rieserferner. TSCHERMAK'S Mitt. 13, 1893, S. 379.
- 6a. — Physiographie der Gemengteile der kristallinen Schiefer. Denkschr. Ak. d. Wiss. Wien, math.-naturw. Kl., 75, I, S. 123.
- 6b. — Über Kristallisationsschieferung und Piezokristallisation. C. R. Congr. géol. intern. Mexico 1906.
7. — Fortschritte auf dem Gebiete der Metamorphose. Fortschr. Min. 5, 1916, S. 210.
8. — Stoffwanderung bei der Metamorphose. TSCHERMAK'S Mitt. 36, 1925, S. 25.
9. BERG, G., Probleme der Lagerstättenlehre. Geol. Rdschau. 13, 1922, S. 349.
10. CHRISTA, E., Das Gebiet des oberen Zemmgrundes in den Zillertaler Alpen. Jb. Geol. Bundesanst. Wien 81, 1931, S. 533.
11. CORNELIUS, H. P., Petrographische Untersuchungen in den Bergen zwischen Septimer- und Julierpass. N. J. f. Min., B.-Bd. 35, 1913, S. 374.
12. — Zur Kenntnis der Wurzelregion im Unteren Veltlin. N. J. f. Min., B.-Bd. 40, 1915, S. 264.
13. — Geologische Beobachtungen in den italienischen Teilen des Albignadisgraziamassivs. Geol. Rdschau. 6, 1915, S. 166.
14. — Zur Frage der Beziehungen von Kristallisation und Schieferung in metamorphen Gesteinen. Cb. Min. 1921, S. 1.

15. — Über einige Gesteine der „Fedozserie“ aus dem Disgraziagebiet (Rhätische Alpen). N. J. f. Min., B.-Bd. 52, Abt. A, 1925, S. 1.
16. — Aufnahmsberichte über Blatt Mürzzuschlag in Verh. Geol. Bundesanst. Wien 1929—31.
17. CORNELIUS, H. P., und FURLANI-CORNELIUS, M., Die Insubrische Linie vom Tessin bis zum Tonalepass. Denkschr. Akad. d. Wiss. Wien, math.-naturw. Kl. 102, 1930, S. 207.
18. GOLDSCHMIDT, V. M., Ein kambrisches Konglomerat von Finse und dessen Metamorphose. Videnskapselskabets Skrifter I, Mat.-Nat. Kl. 1912, No. 18.
19. — Die Injektionsmetamorphose im Stavangergebiet. Ebendort 1921.
- 19a. GSCHWIND, M., und NIGGLI, P., Untersuchungen über die Gesteinsverwitterung in der Schweiz. Beitr. z. Geol. d. Schweiz, Geotechnische Serie 17, 1931.
20. KÖLBL, L., Das Nordostende des Grossvenedigermassivs. Sitzgsb. Ak. d. Wiss. Wien, math.-naturw. Kl., Abt. I, 141, 1932, S. 39.
- 20a. KÖNIGSBERGER, J., Die kristallinen Schiefer der zentralschweizerischen Massive und Versuch einer Einteilung der kristallinen Schiefer. C. R. 11. Congr. géol. intern. Stockholm 1910.
21. MOHR, H., Über einige Beziehungen zwischen Bau und Metamorphose in den Ostalpen. Zs. Deutsch. Geol. Ges. 75, 1923, Monatsb. S. 114.
22. SANDER, B., Zur petrographisch-tektonischen Analyse. Jb. Geol. Bundesanst. Wien 74, 1923, S. 183.
23. SCHÄFER, R. W., Über die metamorphen Gabbrogesteine des Allalingerbietes im Wallis, zwischen Zermatt und Saastal. TSCHERMAK'S Mitt. 15, 1896.
24. SCHMIDT, W., Gesteinsumformung. Denkschr. Naturhist. Mus. Wien 3, 1925.
25. SCHUPPLI, H. Petrographische Untersuchungen im Gebiete des Piz Languard. Schweiz. Min.-Petr. Mitt. 1, 1921, S. 5.
26. SPITZ, G., Sammelreferat über Arbeiten von ZYNDEL, TRÜMPY, CORNELIUS. Verh. Geol. Reichsanst. Wien 1913, S. 203.
27. SPITZ und DYHRENFURTH, G., Monographie der Engadiner Dolomiten zwischen Schuls, Scans und dem Stilfserjoch. Beitr. Geol. Karte d. Schweiz 74, 1915.
28. STAUB, R., Petrographische Untersuchungen im westlichen Berninagebiet. Vierteljschr. Naturf. Ges. Zürich 60, 1915, S. 81.
29. STRECKEISEN, A., Geologie und Petrographie der Flüelagruppe. Schweiz. Min.-Petr. Mitt. 8, 1928, S. 87.
30. TERMIER, P., Les schistes cristallins des Alpes occidentales. C. R. Congr. géol. intern. Wien 1903, II, S. 591.
31. ZÜST, O., Über granitische und diabasische Gesteine in der Umgebung von Ardez. Dissert. Zürich 1905.

Eingegangen: 29. März 1934.