

# Über Plagioklasfüllungen und ihre genetische Bedeutung.

Von Franz A n g e l (Graz).

## B e g r i f f.

Die Plagioklase gewähren in einer Reihe von umgewandelten Gesteinen einen ganz eigenartigen Anblick: Sie besitzen bei einer Größe von nur wenigen  $\text{mm}^3$  eine Menge von Einschlüssen verschiedener Art, unter welchen ein Mineral der Zoisitgruppe und eines der Glimmergruppe immer wieder vorkommt. Die Individuenzahl der eingeschlossenen Mineralien kann in die Hunderte gehen, woraus man sich ein Bild über die Größenverhältnisse machen kann. Solche Plagioklase hat F. Heritsch anlässlich unserer gemeinsamen Studien derartiger Erscheinungen im Kristallin als gefüllte Feldspäte bezeichnet. Seit 1923 verwenden wir diese Bezeichnung in Veröffentlichungen.

## Verbreitung gefüllter Plagioklase.

Außer in gefeldspateten Glimmerschiefern und in Schiefergneisen (z. B. in manchen Bundscheckgneisen aus dem Stubalpengebiet) findet man gefüllte Plagioklase auch in den Umwandlungsprodukten nach dioritischen bis granitischen Tiefengesteinen, also in Orthogneisen (z. B. im Tonalitgneis des Rotenkogels zwischen dem Isel- und Kalsertal in Osttirol), aber auch in ganz bestimmten Tiefengesteinen selbst, (z. B. in Zentralgraniten, -tonaliten, -syeniten des Venedigers, der Zillertaler, der Schladminger Tauern).

Aber nicht allein in umgewandelten Absatzgesteinen und sauren Intrusivgesteinen, sondern auch in metamorphen basischen Massengesteinen gabbroider Abkunft sind unter bestimmten Bedingungen gefüllte Plagioklase zuhause. (Gewisse Amphibolite und prasinitische Amphibolite des Südvenedigers! Saussuritamphibolite aus dem Dössener Tal, Hochalm, Kärnten; Saussuritgabbros von der Stub- und Koralpe, vom Kulm, alle drei steirische Vorkommen.)

Aus diesen Zeilen könnte man den Eindruck erhalten, als sei die Feldspatfüllung nichts anderes als die Saussuritisierung, nur eben auch bei anderen als gabbroiden Gesteinen. Dies ist aber nicht der Fall, und es ist auch nicht beabsichtigt, einfach

für Saussuritisierung ein neues Wort zu bringen. Freilich gibt es Fälle, wo sich die Begriffe nach dem Gebrauch, den einzelne Autoren machen, decken. Z. B. der von Cathrein (Zeitschrift f. Kristallographie, B. 7, 1883, S. 234 ff.) studierte Fall des Saussürites in Wildschönauer gabbroiden Metamorphen. Da handelt es sich tatsächlich nur um eine Zoisit-Muskowit-Füllung in saurem Plagioklas. Dafür gebraucht Cathrein den Namen Saussurit. Auch Becke<sup>1)</sup> nennt ein solches, in erster Linie aus Zoisit aufgebautes Umwandlungsprodukt eines basischen Feldspates Saussurit. Aber im Allgemeinen verbinden verschiedene Autoren damit verschiedene Vorstellungen. Zum Beispiel werden u. a. Granat, Epidot, Hornblende, Chlorit, Skapolith als Gemengteil des Saussürites genannt, auch Zeolithe werden angeführt. Allen diesen Unstimmigkeiten gehen wir aus dem Wege, indem wir von Füllung sprechen; mag man dies nun unter Saussuritisierung subsummieren oder nicht.

### Die Füllungsminerale.

Jene Gemengteile, die ich selbst als Füllungsminerale beobachtet habe und diskutieren will, sind: Zoisit  $\alpha$ , Klinozoisit, Epidot. — Alkaliglimmer, Biotit und Orthochlorite. — Gemeine bis barroisitische Hornblendens. — Hellroter bis farbloser Granat. — Quarz. — Kalkspat. — Disthen (nur in Korallengneisen, in den charakteristischen, von mir schon einmal näher beschriebenen Kleinformen).<sup>2)</sup>

Hievon sind einige sehr gut bestimmbar, trotz der immer sehr kärglichen Dimensionierung. Schwierigkeiten bestehen jetzt noch vornehmlich in der Diagnostizierung des Alkaliglimmers und der Granate.

Die meisten Beobachter stellen diesen Alkaliglimmer als Muskowit in Rechnung, trotzdem eine optische Unterscheidung im Dünnschliff von Paragonit z. B. nicht möglich ist. Eine direkte chemische Prüfung dieser winzigen Einschlüsse leidet darunter, daß sie in einen sauren Albit, also in ein Natronmineral, eingebettet sind. Aber auf einem anderen Weg ist der praktische Nachweis dafür, daß Kaliglimmer vorliegt, doch erbracht worden. Nach Cathreins Angaben steigt nämlich der Kaligehalt der Wildschönauer und anderer Saussürite mit der Zunahme des Zoisites, während der Natrongehalt derselben dann abnimmt. Die Beobachtung, daß der helle Glimmer parallel mit dem Zoisit zunimmt, macht man aber auch beim optischen Studium der Saussürite dieser Art im Dünnschliff. Die Kalizunahme bezieht sich demzufolge also auf den Muskowitgehalt, denn

<sup>1)</sup> Vgl.: Becke-Tschermak: Mineralogie, Wien 1924, Hölder.

<sup>2)</sup> Angel: Tschermaks Min.-Petr. Mitteil. B. 1921, Nr. 35, H. 3/4.

wenn das fragliche Glimmermineral der Natronglimmer Paragonit wäre, dann müßte mit zunehmendem Zoisitgehalt der Natrongehalt dieser Saussürite relativ ansteigen, nicht das Kali. Da sich nun in allen beobachteten Fällen, wo die Feldspatfülle wesentlich von einem Zoisit- und einem Glimmermineral bestritten wird, dasselbe Verhältnis beobachten läßt, so ist wohl der Schluß gerechtfertigt, daß es sich in den Füllungen allgemein um Kaliglimmer handelt, und nicht um Paragonit. Daß dies auch die Theorie verlangt, davon wollen wir in diesem Augenblick absehen. Nur das eine soll noch erwähnt werden, daß die alte *Cathrein'sche* Auffassung, daß das Kali in den Saussüriten, die er untersuchte, als Kalifeldspat enthalten sei, unrichtig ist. Der Kaliglimmer war ihm entgangen. Seine Aufbereitungsmethode des Analysengutes birgt Fehlerquellen, zwar nicht in Betreff des Kali, aber in Betreff anderer Oxyde, weshalb die Analysensumme für heutige Begriffe schlecht ist, und aus seinen Analysen eine streng quantitative Auswertung nicht möglich ist. Da wäre ein ungemein dankbares Feld für einen tüchtigen Analytiker!

Ziemlich ähnlich steht es um die Granaten. Manche Autoren halten dieselben in der Füllung für Kalkgranaten. So z. B. *Becke* anlässlich einer Umsetzung, welche auch gefüllte Feldspäte zum Gegenstand hat (vergl. *Becke*: Mineralbestand und Struktur d. kristallinen Schiefer, Wiener Akademie, Denkschriften 75/I, S. 30. 1913). An einer anderen Stelle dieser Publikation, S. 122 (dieser Teil trägt den Titel Physiographie der Gemengteile d. kristallinen Schiefer) läßt der Text der Äußerung weiteren Spielraum: „... ein lichtgefärbter, in (110) kristallisierender Granat.“ Das müßte also nicht gerade Grosular sein. *Weinschenk* aber bezeichnet die mikrolithenähnlichen Kriställchen in der Plagioklasfülle von Zentralgraniten und Verwandten ausdrücklich als *Eisenoxydulgranat*, *Almandin* unserer Bezeichnungsweise. (Vergl. *Weinschenk*: Minerallagerstätten d. Großvenedigerstockes. Zeitschrift f. Kristallographie, B. 26, 1896, S. 447.)

Diese Frage ist für die Theorie der Plagioklasfülle von größter Bedeutung, denn im Falle Kalkgranat nimmt ein Granatmineral an den chemischen Reaktionen Anteil, die zur Bildung der Fülle führen, im Falle Eisenoxydulgranat nicht. Jedenfalls kann ich nun feststellen, daß es sehr häufig Füllen aus Zoisit und Glimmermineralien gibt, die den Granat überhaupt nicht enthalten, und daß die Anwesenheit des Granaten in der Fülle — das ist der Fall den ich bedeutend weniger häufig in zentralgranitischen Gesteinen beobachtet habe — jedenfalls das Bild der Fülle in Bezug auf das Zoisit-Glimmer-Verhältnis nicht beeinflusst. Wenn man die optischen Anomalien zur Unterscheidung der beiden Granatgruppen heranziehen will, so muß

man sich in den fraglichen Fällen eher für Almandin entscheiden wie für Grossular. Aber diese Unterscheidung ist wahrscheinlich leider nicht kritisch. Es bleibt die Bestätigung der Theorie, die in der betreffenden Mineralgesellschaft nach unseren heutigen paragenetischen Erfahrungen mit einem Kalkgranaten schwerlich etwas anfangen könnte, ausschließlich einer chemischen Untersuchung vorbehalten. Ich glaube das geeignete Material hiezu z. T. schon in Händen zu haben, werde aber wohl noch einer kleinen Ergänzung desselben von kritischen Fundpunkten her bedürfen.

### Der Grundplagioklas.

Jener Plagioklas, welcher die Fülle einlagert, soll als Grundplagioklas bezeichnet werden. Er ist normalerweise vollständig glasklar. Nur die vielen Einschlüsse haben manche Beobachter veranlaßt, ihn als zersetzt zu bezeichnen, wobei an eine Umarbeitung des chemischen Bestandes gedacht war, die mit Gesteinsmetamorphose nicht in Zusammenhang stehen sollte. Man hat auch von „parasitären“, ja von „pathologischen“ Neubildungen gesprochen. Diese Bezeichnungen werde ich nicht gebrauchen. Die Fülle hat weder etwas schmarotzerhaftes, noch etwas krankhaftes an sich; sie folgt großen und großartigen Gesetzmäßigkeiten, wie sich im Folgenden noch zeigen wird.

Sehr häufig sind die Grundplagioklase Albite oder Albitoligoklase. Man kann sie als Albite im weiteren Sinne für den Hausgebrauch zusammenfassen, denn nicht die einzelnen Mischungen spielen da eine Rolle, sondern die ganze, gekennzeichnete Mischungsgruppe. In diesen Fällen ist die Mischung wesentlich ein Mineralgemenge aus Klinozoisit und Muskowit (oder auch Epidot für Klinozoisit). Aber man kennt auch homogene Oligoklase mit einem Anorthitintervall von 25—33 % An als Grundfeldspate. In solchen Fällen tritt an Stelle des Klinozoisites der Zoisit. Es scheint, daß noch basischere, homogene Plagioklase selbst im Saussürit keine Rolle spielen. Übrigens erstreckt sich die Homogenität der Plagioklase oft nur bis zum Rande. Der Rand selbst ist häufig invers zonar gebaut. Die Anorthit-Differenz der Zonen beträgt aber nach einer alten Erfahrung, die zunächst von Becke klar formuliert wurde, und bis heute immer wieder bestätigt werden konnte, nur wenige Mol-% An. Man beobachtet aber auch Plagioklase, deren Hauptmasse nicht homogen ist, da sie zwischen gekreuzten Nikols untersucht, fleckig erscheint. Es liegen dann Flecken mit höheren An-Gehalten und weniger Füllungsprodukten im sonst homogenen, stärker gefüllten Grundplagioklas. Das ist der Fall bei Gesteinen, die auch sonst, mit Hilfe anderer Mineralrelikte, als Gabbroabkömmlinge, oder als Abkömmlinge

metamorpher Gesteine mit einer älteren, zur Fülle nicht passenden Mineralfazies erkannt werden können.

### Morphologie der Plagioklase und Füllungen.

#### 1. Gefüllte Plagioklase als Glieder einer magmatischen Ausscheidungsfolge.

Solche Plagioklase sind in jenen Tauern-Zentralgraniten bis -Tonaliten enthalten, welche deutliche Erstarrungsstruktur und Ausscheidungsfolge erkennen lassen. Diese Plagioklase sind groß individualisiert, idiomorph gegenüber Mikroklin-Mikroperthit und Quarz. Sie sind oft ganz unzonare, homogene Albite mit 5—15 % An, seltener mit mehr, bis etwa 20 % An. Ihre Fülle besteht bloß aus Klinozoisit und Muskowit, und bildet eine vorausgegangene Zonenstruktur mit großer Treue und in folgender Weise ab:

Ganz innen, im Plagioklaskern, ist die Fülle am dichtesten, dann folgt polygonal-konzentrisch eine lockere Füllungszone, hierauf eine wieder etwas dichtere, weiter nach außen noch einmal eine lockere und wieder eine dichte Füllungszone. Ganz außen, in der Rinde, bleibt die Fülle dann vollständig aus. Die Anzahl der Zonen variiert in verschiedenen Vorkommen. Dieses Verhalten entspricht genau der normalen Zonenfolge der Plagioklase von Erstarrungsgesteinen, nur finden wir dort im kalkreichen Zentrum den Anorthit an Stelle des Klinozoisites und Muskowites. Die Zonenwiederholung entspricht den Rekurrenzen.

#### 2. Gefüllte Plagioklasaugen.

In manchen Bundscheckgneisen beobachtet man Augen aus saurem Plagioklas von (im Schnitt) elliptischem oder augenförmigem Gesamtumriß. Diese Plagioklase bestehen aus polysynthetisch zusammengesetzten Individuen, die wiederum zu komplizierten Zwillingstöcken verwachsen sind. Die Füllungsmineralien wachsen hier nicht über die Augengrenze in das übrige Gesteinsgewebe hinaus, wohl aber über die Individuengrenzen der Stöcke. Das scheint mir ein Beweis dafür zu sein, daß die Füllung eine interne Angelegenheit der Augen ist. Besonders deutlich sieht man dieses Verhalten bei den Füllungsklinozoisiten, aber auch die Muskowite tun dasselbe, wengleich dies wegen der Lichtbrechungsverhältnisse im Plagioklasbett weniger bequem kontrolliert werden kann.

#### 3. Plagioklas-Aggregat-Füllungen.

In anderer Weise trifft man gefüllte Plagioklase in verschiedenen Prasiniten (Südvenediger; Eckerwiesen im Hochschobergebiet) oder in Kränzelgneisen (Stubalpe). Da treten ziemlich gleichmäßig runde, 2 bis 3 mm Durchmesser habende

Albite zu Körnerballen zusammen, die auch traubigen Gebilden gleichen können. Sie stecken zwischen den Maschen eines kräftigen Gerüstwerkes dunkler Gemengteile wie eingepfercht. Die dunklen Gemengteile sind Hornblende und Biotit. Sie können von Almandin und von Großkornepidot begleitet sein — oder auch von grobblättrigem Chlorit. In solchen Fällen ist die Fülle komplexer wie sonst. Außer Klinozoisit, Muskowit findet man nun auch Quarz, kleine Hornblenden und Biotite, Granatkörner, Apatit, Epidot. — Allein die aufgezählten Gemengteile dieser Fülle sind einander nicht gleichwertig, denn mit Ausnahme von Klinozoisit, Muskowit und Quarz, eventuell noch Apatit, liegen alle anderen hinzugekommenen Gemengteile in Splitterformen vor, selbst der Großkornepidot. Diese Splitter sind fallweise in deutlicher Ausheilung begriffen. Dann aber ersetzt sichtlich ein neugebildeter Chlorit den Granat, partiell auch Hornblende und Biotit. An Stelle der Splitter von gemeiner Hornblende tritt oft auch eine barroisitische Abart.

Die Größe der Albitballen ist insgesamt oft nur jene von einzelnen Plagioklasen oder den von ganz wenigen Plagioklasen eingenommenen Plagioklasfeldern der Feldspatamphibolite, deren Feldspäte ungefüllt sind und deren dunkle Gemengteile nicht abgesplittert wurden. Morphologisch sind daher die Plagioklasfelder der Amphibolite zweiter Tiefenzone und die viel individuenreicheren Plagioklasballenfelder der erwähnten Prasinite und Kränzelgneise etc. einander ebenso gleichwertig, wie es die verglichenen Gesteine selbst in chemischer Hinsicht sind. Besonders deutlich zeigt sich der morphologische Zusammenhang in Gebieten, wo normale, zweitstufige Plagioklasamphibolite neben Kränzelgneisen etc. vorkommen, wie z. B. auf der Stubalpe (genauer: Wölkerkogel—Schwarzkogel oder bei der Kuppe mit dem alleinstehenden Baum beim Soldatenhaus).

In einer Reihe prasinitischer Gesteine (Lonza bei Mallnitz, Großglockner, Stüdlgrat; Daberkamm bei Kals; Chlorit-Albit-Epidotgneise des Hochwechsels, Bezeichnung nach Mohr) sind diese Albitballen wieder ersetzt durch einen einzigen Albit oder nur ganz wenige Albitkörner in der typischen Rundlingsform, während doch sonst die Albitballen aus sehr vielen kleinen Albitrundlingen (20 bis 50 z. B.) aufgebaut werden. Diese großen Albite enthalten ebenfalls komplexe Fülle, aber nun sind die dunklen Anteile davon ebenso gut kristallisiert, wie Klinozoisit-Muskowit und auch das ganze übrige Gesteinsgewebe ist kristallin regeneriert, in einer mit der Fülle übereinstimmenden Mineralfazies. Es dürfte von praktischem Vorteil sein, die Unterschiede normaler Amphibolit-Feldspäte und jene der Ballenalbite einander gegenüberzustellen.

## Normale Amphibolitfeldspäte

Ungefüllt

Andesin-Oligoklas

Unregelmäßig polyedrische Körner.

Keine bezeichnende Aggregatbildung.

Keine straffe Kornorientierung.

Zahlreiche Zwillinglamellen nach Albit- und Periklin.gesetz.

## Ballenalbite.

Oligoklasalbit bis Albit.

Komplex gefüllt.

Rundlinge.

Bezeichnende Ballen- oder Traubenaggregate, oder große Rundlinge.

Ziemlich straffe Kornorientierung.

Auffallend einfache Zwillingbildungen.

## Paragenetische Beobachtungen.

Sobald gefüllte Plagioklase mit Klinozoisitfülle auftreten, ist die nachweislich jüngste begleitende Mineralfazies des Gesteins stets Albit, Muskowit, Chlorit, Epidot, eventuell Barroisit, Glaukophan, Gastaldit, ein bestimmter Biotit. Übrige, daneben zu beobachtende Gemengteile stehen sichtlich im Ungleichgewicht mit dieser Fazies, wofür Umsetzungserscheinungen zeugen: Kalifeldspäte → Schachbrettalbit und Muskowit; Biotit und Almandin → Chlorit (Pennin und Klinochlor), braune und grüne Hornblende → Barroisit + Chlorit oder Chlorit + Karbonat. Diese Beobachtungen zeigen, daß zur Bildung der Plagioklase mit Klinozoisit ein Tiefenzonenwechsel notwendig ist. Er führt das Gestein aus einer tieferen Zone, der zweiten oder dritten Zone, in die erste. Sehr häufig ist die Ausgangslage, wie oben angedeutet, die zweite Tiefenzone, das heißt also die nächst benachbarte. Das wirkt sich natürlich in besonderen Zügen der neuentstehenden Mineralien, sowohl nach Form, als auch nach dem Chemismus, aus. Daß wir derartige Schlüsse mit solcher Sicherheit ziehen können, verdanken wir nur dem Umstande, daß uns die Natur Ungleichgewichte in haltbarem Zustand, gleichsam konserviert, überliefert.

In ähnlicher Weise kann auch die Bildung von „Saussürit“ mit Zoisit klassifiziert werden. Hier wird oft ein Gabbro (Diablag, Labradorit, + Hypersten und Olivin) von zweiter Tiefenzone überprägt (gemeine Hornblende, Zoisit, Oligoklas, bei Stoffzuschuß auch Biotit und Füllungsmuskowit. Beispiele aus dem Kulmgebiet, Oststeier usw.)

## Genetische Momente. — Echte und falsche Fülle.

Die Beobachtungen auf paragenetischer Basis gestatten uns schon heute eine relativ sichere Zusammenfassung von

Gemengteilen zu genetischen Verwandtschaften, den Fazies. Die Grundlage ist dabei statistischer Natur. Für die Beurteilung der Geschichte, insbesondere der Vorgeschichte der in Betracht gezogenen Gesteine ist die Morphologie ganz besonders wichtig.

Wir haben Fälle dargelegt, wo in der Fülle nur Klinoisit (oder ein anderes Zoisitmineral) und Muskowit auftreten. Dann bilden Grundfeldspat und Fülle eine Paragenese von gleicher Frische und alle beteiligten Gemengteile sind gewachsene Kristalle, nicht etwa Splitter. Sie bilden sozusagen eine Pseudomorphose nach einem älteren Feldspat, der durchschnittlich basischer gewesen sein muß, und dessen Bau im übrigen aus der Morphologie noch zu erkennen ist. In diesem Falle sprechen wir von echter Fülle.

In Fällen von der Morphologie 3 liegen die Verhältnisse anders. Ich verfüge über Präparate einer vollständigen Entwicklungsreihe in folgenden Abstufungen.

### 1. Ausgangslage.

Granatamphibolit mit Almandin, gemeiner Hornblende, Oligoklas, Großkornepidot. Mineralindividuen, sämtliche mit gewachsenen Formen, von bestimmter Größe. — Kristalloblastese zweiter Tiefenzone. Stub- und Gleinalpe.

### 2. Lage. Mylonitisierung.

Mylonit aus diesem Gestein. Dieselben Gemengteile, aber sämtliche in Splitterform. Zertrümmert, nur durch Druck zusammengehalten. Die Splitter jeder Mineralart sind im Großen und Ganzen beieinander liegen geblieben, nur an den Grenzen gegen die Splittermassen anderer Gemengteile findet Vermischung statt. Das deutet auf leichte tektonische Umrührung. Die Plagioklase insbesondere sind im charakteristischen Zustand „körnigen Zerfalls“, d. h. wo im unverletzten Amphibolit einige wenige Plagioklase den Raum zwischen dunklen Gemengteilen ausfüllten, da findet man jetzt ein gleichgroßes vielkörniges Plagioklastrümmerfeld. Analog geht es mit den Hornblenden und Epidoten, aber das ist weniger auffällig. Auch der Granat bildet solche Trümmerhaufen. Also durchgehende Kornverkleinerung als tektonische Aufbereitungsform. Damit harmoniert der Nachweis starker tektonischer Störungen (tektonische Mischungszonen) in den betreffenden Gebieten, z. B. Stubalpe, im Almhausgebiet usw.

### 3. Lage. Ultramylonitisierung.

Dieselben Gemengteile in gleichem Zustand, die Splitter gehen aber in großer Zahl bis auf Staubkorngröße herunter. Das äußere Ansehen ist oft das eines gequetschten, zermalm-



ten schwarzen Körpergemenges, in dem man freien Auges keine Gemengteile diagnostizieren kann. Die Splitter der verschiedenartigen Gemengteile sind nun völlig durcheinandergerrührt, die Durchbewegung war also äußerst heftig. Solche Gesteine sind in den Zentralalpen schon an den verschiedensten Stellen angetroffen worden. Sie sind oft schwer zu erkennen. Auch von der Stubalpe haben wir einige Vertreter.

#### 4. Lage. Beginn der Ausheilung in Myloniten.

In Gesteinen, die wesentlich den Zuständen 2 und 3 entsprechen, beobachtet man Neubildungen, die allerdings nicht durchgreifen. Insbesondere beobachtet man kleine neue Sprossen von Albit mit echter Fülle und Splittereinschlüssen dunkler Gemengteile, einschließlich Granat und Trümmern von Großkorn-Epidoten, aus einer zweitstufigen Phase stammend, und weder umgewandelt, noch ausgeheilt. Z. B. Stubalpe, neben den Formen der früher beschriebenen Lagen.

#### 5. Lage. Vollständige Ausheilung von Myloniten.

In manchen Gliedern solcher Serien ist die Ausheilung soweit vorgeschritten, daß das Grundgewebe vollständig umkristallisiert ist, also z. B. keine Reste alter Feldspäte mehr enthält. Gleichwohl können die dunklen Mineralien abermals in Splitterform vom heranwachsenden Grundgewebe, hauptsächlich Albit mit Fülle, etwas Quarz, etwas Chlorit und gegebenenfalls auch Karbonat, eingeschlossen werden. Das Korn aller Gemengteile bleibt dabei oft noch kleiner wie in der Ausgangslage. Besonders schöne Beispiele in der Kränzelgneis-Gruppe der Stubalpe.

#### 6. Lage. Vollständige Ausheilung von Ultramyloniten.

In diesen Fällen werden auch die dunklen Gemengteile von der Umwandlung ergriffen, z. T. unter Ausheilung, z. T. unter Diaphthorese. Für die Albite tritt anscheinend in diesem Stadium Sammelkristallisation ein, welche eben jene auffallend individuenarmen, dafür aber großen Albitballen oder großen Einzelalbite erzeugt, die man z. B. in Glockner-Prasiniten, in „Grünschiefer-Amphiboliten“ der Lonza bei Mallnitz, in den Chlorit-Albit-Epidotgneisen des Hochwechsels usw. zu Gesicht bekommt. Die nach der alten Hornblende neugebildeten Amphibole — z. T. sind es Barroisite —, haben kleinere Korn-dimensionen, sowohl wie das Muttermaterial, als auch wie die erwähnten Albite. Aus den Hornblenden sowohl, als auch aus den Biotiten, die eventuell im Ausgangsstadium vorhanden sein konnten, werden u. a. verhältnismäßig grobblättrige Chlorite. Die Hornblenden hinken als sozusagen in ihrer Entwicklung etwas nach. Dafür ist ihnen eine auffällige Aggregat-

Orientierung eigen. Diesen Endpunkt der Entwicklung sieht man besonders schön in Glockner-Prasiniten verwirklicht. (Vergl. Angel: Stüdlgrat. Verhandl. d. österr. geolog. Bundesanstalt, Wien, 1928.)

Insgesamt hat man daher folgende Entwicklung vor sich: Ausgangslage: Eine alte Kristallisation (eventuell eine Blastese) führt zur Ausbildung eines bestimmten Mineralbestandes mit bestimmter Korngröße. Aus Anlaß einer neuen Orogenese erfolgt eine innerliche Zerbrechung: Kataklyse bis Ultramylonitisation. Der Effekt ist eine ausgiebige Kornverkleinerung und je nach dem Grad der Durchbewegung eine mehr oder weniger innige Vermischung verschiedenartiger Mineralsplitter. Daran kann sich örtlich die Möglichkeit einer Neukristallisation schließen — was abhängt von der Gegenwart geeigneter Reagentien —, und es kann kristalline Regeneration eintreten, die im Allgemeinen wohl unter anderen p-t-Verhältnissen stattfindet, wie die erst angedeutete alte Kristallisation. Das regenerierte Gewebe hat zunächst kleine Korndimensionen. Wird der Prozeß vorzeitig abgebrochen, so bleibt es dabei. Läuft er ab bis zum Ende, dann kann die Korngröße das frühere Ausmaß nicht nur erreichen, sie kann es auch übertreffen. Hierbei eilen die hellen Gemengteile in den Größenverhältnissen voran.

Diese Stadien und Regenerationen verteilen sich auf einen ungeheuren Kristallisationsraum. Wenn ich die Umrandung der Tauernkerne nenne, vom Brenner angefangen bis zum Ankogel, und Teile der Schladminger Tauern, der Stubalpe, des Hochwechsels, so habe ich damit die Größe dieses Raumes und die Großartigkeit dieser physikalischen und chemischen Veränderungen nur eben angedeutet. Selbstverständlich gibt es zwischen den hervorgehobenen Stadien alle erdenklichen Übergänge.

Daß sich Hornblenden, Biotite, Granaten etc. am Aufbau der Fülle beteiligen, ist also nur auf mechanische Einknetung ihrer Splitter in die kristallisierenden Plagioklasfelder zurückzuführen. Für die Bildung von Grundfeldspat und echter Fülle ist dies belanglos, wie aus der Beschreibung der Übergangsstadien hervorgeht. Daher soll diese komplexe Fülle als falsche Fülle bezeichnet werden, im Gegensatz zur echten Fülle, die ein notwendiges Endprodukt des Plagioklasumbaus darstellt.

In Distrikten mit falscher Fülle wachsen sämtliche Füllungsmineralien über die Grenze der Individuen der Albitballen hinaus, und die teilnehmenden dunklen Gemengteile kümmern sich weder in Splitterform, noch auch in Form regenerierter Mineralien um die Grenzen der Einzelkörner, ja nicht einmal um die Aggregatgrenzen. Sie reichen also auch in das in Bezug

auf die Albite externe Gewebe hinaus, oder sie wachsen und spießen von letzterem aus in die Albitleiber hinein.

Falsche Fülle ist nach dem Gesagten ein Anzeiger für voralbitische Durchbewegung.

### Chemie des Füllungsvorganges.

Die falsche Fülle kann nicht mit der Zusammensetzung des Ausgangsplagioklases in Beziehung gebracht werden, wohl aber die echte. Dies ist von verschiedenen Autoren schon mehrmals vertreten worden und es wurde dieser Zusammenhang schon mehrmals und in verschiedener Weise formuliert (Becke, Weinschenk, van Hise). Nach den morphologischen und paragenetischen Erfahrungen in dieser Hinsicht muß man die angedeutete chemische Beziehung anerkennen.

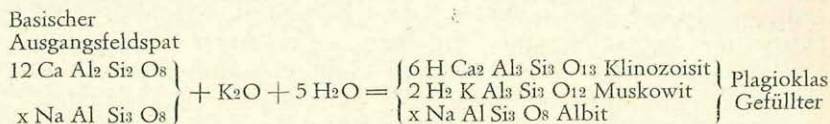
Ein Vergleich der beteiligten Chemismen:

Basischer Plagioklas	Grundfeldspat und Fülle
x Mol % Albit $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	x Mol % Albit $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
	z „ Klinozoisit $\text{HCa}_2\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{13}$
y „ Anorthit $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	u „ Muskowit $\text{H}_2\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}$

Man wird vielleicht fragen, weshalb ich nicht die modernen Summenformeln verwende. Diese Frage steht gegenwärtig so: Die Summenformeln kennzeichnen den allgemeinen Bau kristallochemisch verwandter Mineralien, z. B. der ganzen Feldspatgruppe, der ganzen Zoisit-Epidot-Orthit-Gruppe, der ganzen Pyroxengruppe, Amphibolgruppe, Melilithgruppe etc. für eine große Anzahl wichtiger Mineralgruppen stehen solche Summenformeln bereits mit der nötigen Sicherheit fest; in dieser Richtung hat sich F. Machatschki große Verdienste erworben. Er ist der Autor einiger solcher Formeln. Er empfiehlt aber auch schon für die Handhabung der erforderlichen Formeln in Umsetzungsgleichungen „Spezialformeln“, weil sich die speziellen Umsetzungen mit Summenformeln, die ja einen anderen Zweck haben, nicht darstellen lassen. Es ist praktisch, die Spezialformeln in der kleinstmöglichen Form zu verwenden, und nicht zuviel in sie hineinzulegen. Das ist oben geschehen. Es wird sicherlich jedem, der die Mineralanalysen der in Betracht gezogenen Mineralien selbst studiert hat, sogleich gegenwärtig sein, daß ihnen gewisse Unvollkommenheiten anhaften. So z. B. schwankt der Wassergehalt in gewissen Grenzen und der (freilich sehr geringe) Eisengehalt der Klinozoisite ist nicht angedeutet, und der mögliche, auch sicherlich recht geringe Kaligehalt von Plagioklasen ist ebenfalls nicht in Rücksicht gezogen. Dessen

muß man eingedenk sein, aber es erwächst aus diesen Unvollkommenheiten der Formulierung keine Schwierigkeit, die uns ernstlich aufhalten könnte.

Wenn wir nun zwischen Ausgangs- und Endprodukt eine verbindende Umsetzungsgleichung aufstellen, so sehen wir, daß Wasser und Kali gebraucht wird:



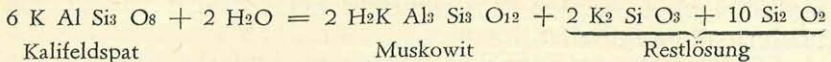
Aus dieser Gleichung kann man die Gewichts- und Volumsverhältnisse des Endproduktes zahlenmäßig feststellen und mit dem Ausgangsplagioklas in Verbindung bringen. Oder umgekehrt: Gegeben ist das Endprodukt: Aus diesem kann auf die Natur der vormetamorphen Plagioklase zurückgeschlossen werden.

Hat man dieses wichtige Datum in der Hand, so läßt sich damit<sup>3)</sup> eine Aussage machen über die Zonenstellung des vormetamorphen Gesteins, beziehungsweise über das protogene Stadium eines Massengesteins, das heute in Zentralgranitfazies vorliegt, also auch über dessen Kristallisationsverhältnisse, Differentiationszustände, und systematische Stellung. Daraus erhellt die Wichtigkeit der Frage. Dieser selben Frage kann man auch von anderer Seite an: Aus der Analyse des heute vorliegenden Gesteins lassen sich ähnliche Schlüsse ziehen, wenn der heutige Mineralbestand bekannt ist. Auf diese Weise kann man die optischen Ergebnisse kontrollieren. Den chemischen Weg hat gerade für hier in Betracht gezogene Gesteine auch Becke beschrieben. Aus seiner Analysenberechnungsmethode, die ich ja auch vielfach verwendet habe (vgl. Angel, Gesteine der Steiermark. Naturwissensch. Verein f. Steiermark, 1924, B. 60), läßt sich ein Anhaltspunkt über die ursprüngliche Natur der Plagioklase des Gesteins gewinnen. Aber man kann nicht jedes Gestein analysieren, um zu einer guten Statistik zu kommen, und daher dürfte die optische Methode ein recht willkommenes Hilfsmittel sein.

Kaliquelle. Erster Fall: Es handle sich um ein granitisches bis tonalitisches Massengestein. Dann können die darin enthaltenen Kalifeldspäte selbst die Kaliquelle zur Füllung sein, da sie ja in der ersten Tiefenzone unbeständig werden und diese Tiefenzone nun gerade herangezogen werden soll, weil das praktisch in erster Linie in Betracht kommt.

<sup>3)</sup> Aber nicht damit allein!

## Wasser als Lösungsgenosse!



Der Muskowit bleibt im Gestein. Die Restlösung kann im selben Gestein sich an der Weiterentwicklung umsetzend beteiligen, soweit dies nötig ist. Der Überschuß diffundiert in die Hülle des kalispændenden Intrusivs, oder wird dahin ausgepreßt. Daher sind ja bei solchen Gelegenheiten auch in den Hüllgesteinen allerhand bezügliche Neubildungen zu finden.

Diese Restlösung wirkt im eigenen Gestein im Leib der Plagioklase muskowitbildend. Es ist die Frage, ob sie dort auch Quarz zurücklassen muß. Die Erfahrung sagt, daß in einer sehr großen Zahl von Fällen der Quarz in der Fülle keine Rolle spielt. Aber verallgemeinern kann man dies nicht. In manchen Fällen ist er unzweifelhaft in kleinen Beträgen da. Dafür kann man vielleicht folgende Erklärung annehmen: Saure Feldspäte der Plagioklasgruppe enthalten gewisse kleine Beträge Kali für Natron. Viel kann dies bei den in Betracht kommenden Temperaturen aber nicht sein, da Kalium und Natrium unter diesen Verhältnissen Gitterbausteine von zu erheblichen Größenunterschieden sind.

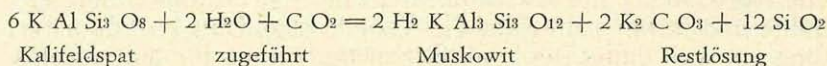
Diese kleinen Mengen Kali werden nun bisher als beigeischter Kalifeldspat betrachtet. Sie könnten zur Muskowitbildung ebenso verwendet werden, wie die externen Kalifeldspatmassen. Der dabei im Plagioklasleib freiwerdende Quarz könnte nun eher hier liegen bleiben, als daß von außen Quarz in den gefüllten Plagioklas hineingepropft wird.

Zweiter Fall. Es handle sich um basische Metamorphose, deren Feldspäte Füllung bekommen sollen. Diese haben in ihren Plagioklasen schon von Anfang an wieder keine nennenswerten Kalibeträge, weil es hier um die Möglichkeit von Kalieinbau gittertechnisch noch ungünstiger steht, wie im früheren Fall. Daß hier das Kali erst bei der Füllung hineinkommt, das zeigen die Analysen von Cathrein trotz ihren Unvollkommenheiten in anderen Belangen ganz einwandfrei: Je mehr Füllungszoisit, desto mehr Kali, weil die begleitende Muskowitmenge wächst. Je mehr Zoisitmineral, desto basischer mußte aber nach unserer Gleichung der Ausgangsfeldspat sein. Und je basischer derselbe war, umso weniger konnte er von Anfang an Kali besitzen. Dieses Kali kann auch deshalb nur von außen stammen, weil ein Gestein gabbroider Natur, wie es im Falle Wildschönau und vielen anderen die Unterlage der besprochenen Prozesse ist, kein Kalimamineral enthält. Nun haben wir aber eine Kali-Quelle — granitische bis tonalitische Intrusiva — kennen gelernt, die für die Kaliausfuhr in darnach bedürftige Gesteine

geeignet ist. Die geologische Beobachtung bezeugt es, daß solche Massen tatsächlich Kalispender sind. Geologie und Feldpetrographie erbringen auch die nötigen Belege, daß es wirklich die Restlösungen sind, welche den Kalitransport übernehmen. Sie zeigen ferner, daß gabbroide und amphibolitische Gesteine zu den eifrigsten Kaliempfängern gehören. Über dieses Kapitel bestehen ausführliche Untersuchungen von V. M. G o l d s c h m i d t (Intrusionskontaktmetamorphose im Stavangergebiet), von B e c k e (Stoffwanderung bei der Metamorphose) und auch von mir (Gleinalm als metamorphe Einheit. — Magmenentfaltung im Gleinalmgebiet). Mit Hilfe solcher Restlösungen findet nicht allein die Füllung der Plagioklase statt, sondern auch die Umbildung von Hornblenden in Biotite usw. Dieselben Einflüsse sind am Werke nicht nur in erststufigen Fällen, sondern auch in zweitstufigen. Auch da, wo ja ohnedies schon die Muskowite neben den Kalifeldspäten beständig sind, kann im Bedarfsfall durch Umbau der nötigen Menge Kalifeldspat in Muskowit eine Kaliquelle geöffnet werden.

V a r i a n t e. Ziemlich häufig findet man in den Kalifeldspatresten von Zentralgraniten Einschlüsse von spätigem Kalkspat (keineswegs etwa ein Verwitterungsprodukt), wengleich natürlich nicht in größeren Mengen, was bei der chemischen Natur der Granite verständlich ist. Dieses Karbonat zeigt aber an, daß bei den Kristallisationsprozessen des Granites auch Kohlensäure beteiligt war, mindestens daß bei den Stoffwechselprozessen die Kohlensäure mitgewirkt hat. Daher z. B.

mit Wasser als Lösungsgenossen



Man hat nicht allein mit Kalisilikat, sondern auch mit Kalikarbonat in den Restlösungen zu rechnen.

Wasser- und Kohlensäurequelle. Bei regionalen Vorgängen von so ungeheurer Ausdehnung, wie im vorliegenden Fall, laufen eine ganze Anzahl von Reaktionen nebeneinander. Bei der vorschreitenden Kristallisation ehemals sedimentärer Hüllgesteine der Intrusivmassen wird anlässlich der Neubildung von Zoisitmineralien und Glimmermineralien etc. eine sehr beträchtliche Wassermenge und Kohlensäuremenge frei. Darüber habe ich seinerzeit für das Gleinalmgebiet Berechnungen angestellt (vgl. A n g e l: Gleinalpe als metamorphe Einheit. N. Jahrbuch f. Min. etc. 1923) mit Hilfe dieser trefflichen Lösungsmittel und Lösungsgenossen treten nun Intrusiv und Sedimenthülle miteinander in Stoffwechsel.

## Die Raumfrage.

Man könnte nun denken, daß die Klinozoisitproduktion keine Frage des internen Haushaltes gefüllter Plagioklase sei, sondern vielmehr außer Kalium auch Kalzium von außen zugeführt werde. Allein in vielen der in Betracht kommenden Fällen gibt es in den betreffenden Gesteinen außer dem Anorthitanteil der Plagioklase keine Kalkmineralien. Da ist dann eine Zufuhr von außen ausgeschlossen. Freilich wird durch die Umwandlung basischer Plagioklase in gefüllte trotz des Einbaues von Kali und Wasser eine Volumersparnis von 8 %, bezogen auf Anorthit, erzielt. Aber darin liegt ja der Sinn der Umwandlung, daß nämlich auf demselben Raum nunmehr mehr Stoff untergebracht werden kann. Übrigens müßte man erwarten, daß bei einer Kalkzuwanderung von außen besonders die Außenzone zoisitreich werde. Das ist aber nicht der Fall. Ich weiß daher keinen Grund anzugeben, weshalb die Füllung mit einem Zoisitmineral nicht ein gänzlich interner Prozeß sein sollte.

## Erklärung zu Tabelle 1.

Die Tabelle 1 wertet die Füllungsgleichung nunmehr rechnerisch aus. Als Grundlagen der Berechnung dienen neben den schon wiederholt verwendeten Formeln folgende Dichten: Albite = 2,62 — Anorthit = 2,76 — Klinozoisit (Zoisit) = 3,30 — Muskowit = 2,76. Diese Zahlen stellen für unsere Zwecke geeignete Mittelwerte dar, ihre Genauigkeit ist natürlich abgestimmt auf die gesamten Fehlerquellen. Mit einer dritten Dezimale zu arbeiten, wäre in unserem Falle sinnlos. Aus demselben Grund, der Berücksichtigung der Fehlerquellen, ist die Berechnung nur für Intervalle von 5 zu 5 Mol % durchgeführt und ferner schneidet die Tabelle schon im Labradoritgebiet ab, weil damit der praktischen Bedeutung für die gesteinskundlichen Zwecke schon genug Rechnung getragen ist.

Tabelle 1.

Ein Plagioklas					
mit Mol.- <sup>o</sup> / <sub>o</sub>	hat vormetamorph Gewichtsteile		hat nachmetamorph Gewichtsteile		Summe Ab + Kz + Mu
	An	Ab	Klinozoisit	Muskowit	
0 An	0'0	100	0'0	0'0	100
5 "	5'3	94'7	4'30	1'27	100'27
10 "	10'5	89'5	8'60	2'41	100'51
15 "	15'7	84'3	12'86	3'76	100'92
20 "	20'9	79'1	17'12	5'00	101'22
25 "	26'0	74'0	21'30	6'23	101'53
30 "	31'2	68'8	25'56	7'37	101'73
35 "	36'2	63'8	29'66	8'67	102'13
40 "	41'3	58'7	33'84	9'99	102'44
45 "	46'4	53'6	38'01	11'11	102'72
50 "	51'4	48'6	42'11	12'31	103'02

Beispiel der Benutzung: Ein Plagioklas besitzt vormetamorph, also etwa ungefüllt, 25 Mol % An. — Wieviel ist das in Gewicht — % Ab und An? Was wird daraus bei der Füllung? Man liest in der Tabelle von rechts nach links hin: Plagioklas mit 25 Mol % An besitzt 26,0 Gew. % An und 74,0 Gew. % Ab; das ergibt nach der Füllung 74 Gew.-Teile Ab + 21,30 Gew.-Teile Klinozoisit + 6,23 Gew.-Teile Muskowit, zusammen jetzt 101,53 Gew.-Teile.

### Erklärung zu Tabelle 2.

Auf Grund der Tabelle 1 wurde nun die Tabelle 2 weiter berechnet. Sie ist in folgender Weise zu benützen:

Man beobachtet einen gefüllten Plagioklas mit 76,4 Vol % Albit, 15,5 Vol % Klinozoisit (Zoisit) und 6,1 Vol % Muskowit. Von welchem vormetamorphem, ungefüllten Plagioklas stammt dies her? Die beobachteten Vol %-Werte findet man in Zeile 6 der Tabelle. Sie führt in der letzten Kolumne zu einem Oligoklas mit 25 Mol % An. Dies bedeutet, daß dieses Gestein sich vordem in der zweiten Tiefenstufe entwickelt hat, daß es keinen gabbroiden sondern allenfalls einen amphibolitischen Charakter gehabt hat, oder auch einen granitischen Charakter, das wird durch begleitende Reliktminerale leicht zu erschließen sein. Es gibt natürlich Sonderverhältnisse, die eine so glatte Abwicklung des Schlusses nicht gestatten. Aber diese Sonderfälle, die ich da nicht näher ausführen möchte, weil sie ja den allgemeinen Gang der Untersuchung nicht beeinflussen können, sind keine störenden oder unzulänglichen Faktoren. Ich deute nur grob an: Ein ungefüllter Albit ist an und für sich gar kein verlässliches Zeichen für ein bestimmtes p-t-Intervall der Kristallisation. Man muß seine ganze Gesellschaft mit in Rechnung ziehen. Aber es fehlt uns durchaus nicht an der Kenntnis der besonderen Umstände zur Deutung der betreffenden Mineralgesellschaften.

Aus demselben Grund wie früher, wegen der Fehlerquellen, wurde auch hier das Intervall 5 zu 5 Mol % eingehalten. Zu den theoretischen Fehlerquellen gesellt sich hier eine wichtige praktische, die wir ebenfalls als in den gewählten Rahmen passend befunden haben. Die Art der Feststellung der Volumsverhältnisse: Diese erfolgt durch Messung im Dünnschliff, Methode nach Rosival, Auszählung mittels Objektiv 5 und Okular 3 mit Mikrometer (Reichertinstrumente!). Besonders gut geht es mit der Volumbestimmung des Klinozoisits oder des Zoisites. Dagegen ist die Muskowit auszählung sehr ermüdend und hier sind die subjektiven Fehler groß. Aber man wird ja praktisch ohnedies bloß den Klinozoisit auszählen, da die Werte der übrigen Gemengteile des gefüllten Feldspates davon ab-



hängig sind. Zur Auszählung aller Gemengteile wird man wohl nur in Verfolgung besonderer Ziele greifen.

In sehr vielen Fällen ist nun der Grundfeldspat nicht reiner Albit, sondern selbst schon ein Plagioklas mit 20—25 % An. Das muß man natürlich berücksichtigen. Und dafür ist die Tabelle ebenfalls zu brauchen, weil die Intervalle der einzelnen zu unterscheidenden Fälle grob genug gewählt sind.

Z. B. Ein Plagioklas mit 25 % An enthält eine Fülle mit 14 Vol % Klinozoisit. Aus der Tabelle entnimmt man: Diese Klinozoisitmenge entspricht einem 20prozentigen Oligoklas, wenn der Grundfeldspat Albit ist. Er ist aber selbst schon Oligoklas. Daher war der Ausgangsfeldspat ein (Oligoklas + 14 Vol % Klinozoisit-Fülle) = basischer Andesin mit  $u n g e f ä h r$  45 % An. Diese Lösung ist natürlich ungenau, aber es hätte auch hier keinen Sinn, sie genauer zu rechnen, weil ja die in Summa in Rechnung gezogenen Fehler jeglicher Art die genauere Rechnung entwerten.

In der im Manuskript vorliegenden Form wurde diese Tabelle bereits mehrmals zum Gebrauch herangezogen.

Tabelle 2.

Man beobachtet einen gefüllten						Dann hatte der vormetamorphe Plagioklas Mol.-%
Albit		+	Klinozoisit	+	Muskowit	
Vol. %	Gew.-%	Vol. %	Gew.-%	Vol. %	Gew.-%	
100	100	—	—	—	—	0 An
95·4	94·45	3·4	4·29	1·2	1·26	5 „ Albit
90·8	89·04	6·9	8·56	2·3	2·40	10 „ Albit-Oligo-
86·0	83·52	10·4	12·75	3·6	3·63	15 „            klas
81·1	78·14	14·0	16·92	4·9	4·94	20 „
76·4	72·86	17·5	21·00	6·1	6·14	25 „ Oligoklas
71·6	67·63	21·1	25·12	7·3	7·25	30 „
66·8	61·60	24·6	29·60	8·6	8·50	35 „
62·3	57·28	27·7	33·05	10·0	9·67	40 „ Andesin
56·6	52·15	31·5	37·01	11·2	10·84	45 „
51·9	47·10	35·8	40·90	12·3	12·00	50 „ Labradorit

Aus diesen Ausführungen ist zur Genüge ersichtlich, daß die Feldspatfüllung nichts „pathologisches“ oder „parasitäres“ an sich hat, denn man kann einen mit so strenger Gesetzmäßigkeit durchgeführten Wachstumsvorgang, der mit harmonischer Erfüllung neu eingetretener Bedingungen verbunden ist, gewiß nicht mit Recht als krankhaft oder schmarotzerisch brandmarken. Eher dürfte man sagen: ... und neues Leben sprießt aus den Ruinen!

G r a z, Mineralogisch-Petrographisches Institut d. Universität. 10. November 1930.