

W. Hommels systematische Petrographie auf genetischer Grundlage

Autor(en): **Niggli, P.**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **8 (1928)**

Heft 2

PDF erstellt am: **25.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-9927>

Nutzungsbedingungen

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

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

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

Haftungsausschluss

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

W. Hommels systematische Petrographie auf genetischer Grundlage¹⁾

Nach den hinterlassenen Manuskripten dargestellt

von

P. Niggli

II.

Im Kapitel, das bezeichnet ist: „*Die Differentiationsvorgänge im Magma und die Entstehung der Gesteine*“ werden zunächst allgemeine Gesichtspunkte hervorgehoben:

1. Vollständige Mischbarkeit der Silikatlösungen. Entmischungen kommen somit für die magmatische Differentiation nicht in Frage oder spielen eine untergeordnete Rolle.

2. Wichtigkeit der leichtflüchtigen Bestandteile, insbesondere in der zweiten Phase der Abkühlung.

3. Wichtigkeit der fraktionierten Kristallisation. Es mag gerechtfertigt sein, den ganzen, auf Punkt 3 sich beziehenden Abschnitt hier abzudrucken, da Hommel in bezug auf gravitative Einflüsse andere Ansichten als beispielsweise BOWEN ausspricht. Hommel schreibt:

„Ob nun aber die Erstarrung sich mit oder ohne Einwirkung der festen Phase vollzieht, so ist doch das eine gewiss: in beiden Fällen kommt im Verlauf der Erstarrung eine bestimmte Kristallisationsfolge zur Geltung und die Entstehung der Gesteine ist nichts anderes, als die Ansammlung der unter gleichen Temperatur- und Druckverhältnissen ausgeschiedenen Minerale. Die Gesteinsbildung aus dem trocken-flüssigen Zustande des Magmas beruht also auf *fraktionierter Kristallisation*, ein Vorgang, für den in neuerer Zeit der höchst unglücklich gewählte Ausdruck „Kristallisationsdifferentiation“ gebraucht wird. Obwohl man nun auch diesen Gedanken

¹⁾ Siehe Band VII dieser Zeitschrift Seite 54—97. — Wir lassen in diesem zweiten Abschnitt W. Hommel das Wort, ohne daß der Herausgeber zu den Ansichten Stellung nimmt. Ein dritter Abschnitt wird die Darstellung zu Ende führen.

in älteren Hypothesen oft ausgesprochen findet, so ist er doch wiederholt fallen gelassen, weil ihm von verschiedenen Seiten scheinbar gewichtige Gründe entgegengehalten wurden. Immer und immer wieder taucht nämlich der Einwand auf, dass die ausgeschiedenen Kristalle, weil sie notwendigerweise spezifisch schwerer sind als die Schmelze, absinken und in der ewigen Teufe verschwinden müssten, sodass also zum Schlusse nur ein einheitliches Restprodukt, etwa ein Granit, übrig bleiben könnte. Es wurden dann ausgedehnte Versuche über die Dichten der Schmelzen, der Kristalle und der glasig erstarrten Massen unternommen, die diese Anschauung zu bestätigen schienen. Schliesslich glaubte man sich dadurch helfen zu müssen, dass man für die Möglichkeit des Schwebens der Kristalle eine gewisse Viskosität des Magmas annahm. Aber auch diese Annahme wurde hinfällig, als DOELTER nachwies, dass die Silikatschmelzen schon wenig oberhalb des Schmelzpunktes dünnflüssig werden. Ausserdem beweisen ja die bis zu den feinsten Verästelungen herabsinkenden Gänge und Trümchen, gleichviel ob von basischer oder saurer Zusammensetzung, dass den betreffenden Magmen eine ganz ausserordentliche Dünnschmelzbarkeit zukommt.

Die diesbezügliche Literatur zeigt, dass man auch hier von lauter falschen Voraussetzungen ausgegangen ist, und die einfachsten Tatsachen, die jedem Hüttenmanne geläufig sind, der mit der Handhabung grosser Mengen von Silikatschmelzen vertraut ist, übersehen hat. Lassen wir eine Schlacke in einem grossen Gefäss erstarren, so wird sich zunächst an der Wandung des Gefässes und an der der Luft ausgesetzten Oberfläche eine Kruste bilden. Die Erstarrung wird zonenweise von aussen nach innen fortschreiten und unter der erstarrten Decke finden wir einen Hohlraum, entstanden durch das verminderte Volumen der erstarrten Schlacke, der mit schönen, offenbar auf pegmatitische Vorgänge zurückzuführenden grossen Kristallen besetzt ist. Stossen wir die Schlackendecke vor völliger Erstarrung der Masse durch und lassen den Inhalt auslaufen, so finden wir im Gefäss die zuerst erstarrte Kruste vor, die mit lauter in der Bildung befindlichen Kristallen besetzt ist. Wir ziehen daraus den Schluss, dass die erste Ausscheidung von Kristallen notwendig *an der kühlfsten Stelle*, nämlich *an der Wandung des Gefässes* stattfinden muss, und *die Kristalle sich an diese ansetzen*. Für unser tellurisches Magma wird aber die Gefässwandung durch die Gesteine der Erdoberfläche dargestellt. Hier findet die erste Erstarrung und der Ansatz von

Kristallen statt, die bei fortschreitender Abkühlung durch Wachstum und Vermehrung zur Gesteinsbildung führen. Vollendete Ruhe vorausgesetzt, hätten wir also zu erwarten, dass sich innerhalb der festen Erdkruste der Reihe nach die bei den verschiedenen Temperaturen zur Ausscheidung gelangenden Minerale ansetzen und so zu einer zonar aus verschiedenen Gesteinen bestehenden Schale führen. Als erstes Ausscheidungsprodukt käme der Olivin in Frage, und es scheint mir für die obigen Ausführungen ein zwingender Beweis in der Tatsache zu liegen, dass gerade in den kristallinen Schiefen des Grundgebirges so häufig Lager und Einschlüsse von Olivingesteinen angetroffen werden.

Die absolute Ruhe, welche für diese Bildungsweise vorausgesetzt wird, kann jedoch auf verschiedene Art gestört werden. Einmal können es tektonische Bewegungen sein, dann aber auch vor allem die notwendig vorhandenen *inneren Strömungen* im Magma. Sehen wir von elektrischen Kräften ab, deren Einfluss wir gar nicht anzunehmen brauchen, so bleiben zwei wichtige Faktoren, die notwendigerweise solche Strömungen im entgegengesetzten Sinne hervorrufen müssen. In erster Linie die *Temperaturabnahme*. Sie verursacht, wie in jeder flüssigen Masse, so auch hier eine Strömung von den kälteren zu den heisseren Zonen, der eine Strömung im entgegengesetzten Sinne entsprechen muss. Fast noch wichtiger ist vielleicht der zweite Punkt. Er beruht auf dem *Gasgehalt des Magmas*. Die ständige Abgabe von Gasen muss im Magma einen an das Sieden erinnernden Zustand hervorrufen. Das Magma, das aus dem heissen Innern kommt, wird beim Aufsteigen mehr und mehr Gase austreiben, die, nach oben perlend, den Strom beschleunigen. Diese Vorgänge haben aber weiterhin zur Folge, dass die Abkühlung des Magmas nicht mehr zonar von der Erdkruste aus erfolgt, sondern dass der gesamte Inhalt eines Lakolithen oder eines vulkanischen Herdes ziemlich gleichmässig auf eine bestimmte Temperatur heruntergebracht wird, die der Ausscheidung bestimmter Minerale entspricht. Bis diese Temperatur erreicht ist, müssen Kristalle, die sich inzwischen an kälteren Stellen ausgeschieden haben, durch heissere Partien des Magmas wieder aufgelöst werden. Dann aber wird die Ausscheidung ziemlich gleichmässig im gesamten Magmainhalt erfolgen. Damit wäre also das Stadium erreicht, für welches früher das Absinken der gebildeten Kristalle befürchtet wurde. Ein solches Absinken ist jedoch unter den im erstarrenden Magma bestehenden Verhältnissen eine glatte Unmöglichkeit.

Zunächst ist zu bedenken, dass die sich bildenden Kristalle von mikroskopischer Kleinheit sind. Sie folgen also, wie die Untersuchungen der Kolloidchemie und der in der Erzaufbereitung verwendeten Flotationsprozesse gezeigt haben, ganz anderen Gesetzen als denen, die für grössere Körper in Frage kommen. Das spezifische Gewicht spielt bei diesen Dimensionen überhaupt keine Rolle mehr. Selbst bei grösseren Individuen kann ein Absinken dadurch verhindert werden, dass der Körper sich in einer Flüssigkeit befindet, aus der Gasblasen entweichen. Ich kenne dafür kein anschaulicheres, wenn auch triviales Beispiel als dasjenige von der Rosine im Sektglas, die zunächst auf den Boden des Kelches sinkt, um dann mit Kohlensäurebläschen beladen zur Oberfläche gehoben zu werden. Endlich müssen noch grössere Kristalle, die selbst hierdurch vor dem Absinken nicht bewahrt werden können, durch die zweifellos heftigen Strömungen (denn wir müssen uns das Magma als eine siedende Masse vorstellen) in der Schwebe erhalten werden.

So sind es also drei Ursachen, nämlich die *Kleinheit der Kristalle*, der *Gasgehalt der Schmelze* und die *starken inneren Strömungen*, denen zufolge die ausgeschiedenen Kristalle in der Schwebe erhalten bleiben. Ob sie alle gleichzeitig oder gleichmässig wirken, oder ob die eine oder andere stärker hervortritt, das ist ein Umstand, der von lokalen Bedingungen, wie vom Gasgehalt des Magmas, der Durchlässigkeit des Nebengesteins und der Abkühlungsgeschwindigkeit abhängt, und somit für die Art des entstehenden Gesteins von grossem Einfluss ist. Für die Richtigkeit der Anschauung spricht ganz besonders die schlierige Beschaffenheit aller grossen Massive sowohl, wie aller Effusivmassen, woraus das Vorhandensein der magmatischen Strömungen deutlich hervorgeht. Ferner lässt sich die selbst bei den grössten Massiven relativ nur sehr geringe Grösse der Kristalle nur dadurch erklären, dass die Kristallisation gleichzeitig von sehr vielen Zentren aus begann. Das ist aber wiederum nur dann möglich, wenn ein grosser Teil der Schmelze gleichmässig auf eine bestimmte Temperatur abgekühlt worden war, was seinerseits wieder nur infolge von Strömungen im Magma erzielt werden kann.

Hat nun die Intrusion eines solchen aus Kristallin und Schmelze bestehenden Gemisches stattgefunden, und haben sich die Kristalle weiterhin vergrössert, so wird endlich ein Zustand eintreten, der dem geschilderten Vorgang in gewissem Sinne geradezu entgegengesetzt ist. Die grossen Kristalle werden von den entweichenden Gasblasen kaum mehr beeinflusst, dafür wird jedoch die inzwischen

viskoser gewordene Schmelze von diesen mitgerissen und es wird so das Zustandekommen einer sauren Randfacies hervorgerufen. Ein gasreiches Magma wird beim Aufsteigen in einer Erdspalte oder einem sonstigen Hohlraum diesen niemals gänzlich ausfüllen können, sondern, wie der Wassertropfen beim Leydenfrost'schen Phänomen von einer Dampfhülle umgeben ist, so wird hier eine fluide Dampfphase das flüssige Magma vom Nebengestein trennen. Dieser Zustand wurde bereits im ersten Band gelegentlich der Besprechung des Hornblendegabbros vom Mühlthal erwähnt und wir werden auch nachher noch einmal auf ihn zurückkommen.

Je langsamer andererseits die Gasabgabe von statten geht, umso mehr wird sich die Kristallisation in der zuerst geschilderten zonaren Weise vollziehen. Die Strömungen im Magma gehen auf ein Minimum zurück und die Kristalle werden stets nur an der kältesten Stelle, dem Kontakt mit dem Nebengestein, ausgeschieden und dort abgelagert. So entsteht dann eine zonare Ausbildung von Gesteinen, die von aussen nach innen alle Übergänge von den basischen zu den sauren Gliedern aufweist. Da sich hierbei die Kristalle stets nur an den kältesten Stellen bilden und dort ansetzen, so werden sie also *aus der Schmelze entfernt und nehmen an den weiteren Kristallisationsvorgängen nicht mehr teil, sind insbesondere etwaigen Umwandlungen bei tieferer Temperatur nicht mehr unterworfen*. Wir erkennen leicht in den geschilderten beiden Gegensätzen die Entstehungsbedingungen einerseits für die *paragenen*, andererseits für die *orthogenen* Gesteine. Es seien nun an einer Reihe von in der Natur vorkommenden Gesteinsserien diese Verhältnisse näher besprochen.“

Als Beispiele orthogener Differentiationssysteme (langsame, ruhige Abkühlung, zonare Ablagerung der Kristalle, Olivin meist vor Umwandlung in Klinoenstatit der Schmelze entzogen) werden folgende Gesteinsassoziationen besprochen und graphisch dargestellt:

1. *Katorthogen. Gesteine der Adirondack Mountains* im Staate New York, U. S. A. Nachdem Olivin und rhombischer Pyroxen vollständig von der Schmelze abgetrennt waren, entstand der Anorthit, dann erfolgte im Gabbro gleichzeitige Ausscheidung von Plagioklas und Pyroxen, hierauf mit immer saurer werdendem Plagioklas die Bildung von syenitischen, schliesslich quarzsyenitischen und granitischen Gesteinen. „Höchst bezeichnend für alle diese Gesteine ist ihr Hypersthen- und Mikroperthitgehalt, der sie als identisch mit den Mangeriten KOLDERUPS erscheinen lässt. Der

Hypersthen deutet auf Ausscheidung erheblicher Mengen von rhombischem Pyroxen in einem früheren Stadium der magmatischen Erstarrung. Er ist ein fremder Gast in den sauren Gesteinen, der lediglich durch Verschleppung oder unvollständige Abtrennung von der Schmelze in diese gelangt ist. Andererseits deutet der Mikroperthit an, dass die vermutlich vorhandene Zone des eutektoiden Zerfalls eines nur bei höheren Temperaturen beständigen Orthoklas-Plagioklas-Mischkristalls sehr langsam durchschritten wurde.“

Gesteine der Gegend von Bergen und Eckersund, S-W-Norwegen. Abgesehen von einigen sekundären Differentiationsprodukten mehr schlieriger Natur, ist Übereinstimmung im Differentiationsverlauf mit dem vorher genannten Beispiel vorhanden. Olivingabbro und Quarzmangerite zeigen Übergänge zu meso- bis epiorthogenen Gesteinen an.

2. Mesorthogen. *Die Gesteine des Brockenmassives im Harz.* Der Gehalt an Kalkfeldspat nimmt von den basischen Gliedern bis zu den Graniten allmählich ab. Gleichzeitig wachsen die Alkalien an, sodass der Durchschnittsfeldspat immer saurer wird. Der Kaligehalt nimmt stufenweise zu. (Sprunghaftes Eintreten in die Glimmer- und später in die Orthoklaszone.) Eine Reihe von Gesteinen, wie Olivingabbros, Biotitaugitgabbros, Diopsidgabbros, werden als lamprophyrähnliche Mischgesteine angesprochen. Im übrigen ergibt sich nach Hommel folgendes: „Die Anorthitbildung fehlt, Pyroxen und Plagioklas werden frühzeitig zusammen ausgeschieden. Die Gabbrodiorite sind eine endomorphe Kontaktzone der Gabbros (starke Strömung, Gehalt an leichtflüchtigen Bestandteilen), zeigen jedoch die Ausbildung mittleren Plagioklases an, wodurch Syenitbildung verhindert wird. Es folgen später granitische Gesteine. Statt Anorthosit und Syenit tritt somit hier wegen rascher Abkühlung Diorit auf.“

3. Eporthogen. *Gesteine vom Mount Ascutney im Staate Vermont, U. S. A.* Zwei Möglichkeiten sind bei rascherer Abkühlung, Durchmischung u. s. w. nach Hommel in Betracht zu ziehen:

- a) Kristallisation des Orthoklases schon im Gabbrogestein.
- b) Teilweise Umwandlung von Olivin in Klinoenstatit, dadurch frühzeitige Diopsidbildung, wodurch das Anorthitmolekül zugunsten der Alkalifeldspäte zurückgedrängt wird. Es können somit wieder syenitische Glieder entstehen. Der Gehalt an leichtflüchtigen Bestandteilen hat oft Hornblende zur Folge. Die Gesteine von Ascutney zeigen diese Verhältnisse. Die Provinz ist ein Übergang zu paragenen Provinzen.

4. *Paragene Differentiationssysteme.* Hommel schreibt:

„Der Grundcharakter der paragenen Gesteine wird durch die weitgehend oder vollkommen erfolgte Umwandlung des Olivins zu Klinoenstatit bedingt. Aus der infolgedessen kieselsäurearm gewordenen Schmelze scheidet sich primär *Nephelin* aus, dessen Gegenwart zunächst durch das Auftreten alkalischer Hornblenden und Pyroxene angezeigt wird. Schon in früherem Stadium muss daher bei der Entstehung dieser Gesteine starke Abkühlung und damit verbundene heftige Durchströmung und Vermengung des Magmas stattgefunden haben. Peridotite und rhombische Pyroxenite fehlen, oder treten auch nur vereinzelt in der *kataparagenen* Reihe in Form von *Pikriten* und *Glimmerperidotiten* auf. Die basischsten Glieder sind Alkali-Pyroxenite und Hornblendite mit häufigem Gehalt an Titanaugit. Der Pyroxengehalt der mittleren Glieder wird ausschliesslich vom Diopsid und diopsidischem Pyroxen gestellt.

Schon der in der Hauptsache eporthogen verlaufende Differentiationsvorgang des Mount Ascutney hat uns zu kataparagenen Gesteinsformen geführt. Je tiefer wir in das eigentliche Gebiet der paragenen Gesteine eindringen, umso mehr macht sich die Tatsache geltend, dass die paragenen Bedingungen eine Fülle der verschiedensten Erstarrungsprodukte liefern. Kein paragenes Gesteinsgebiet kann in seiner Gesamtheit, wie dies bei den orthogenen doch meistens der Fall ist, durch eine einzelne Differentiationskurve gekennzeichnet werden. Je grösser das Gebiet, umso zahlreicher die Varianten, denn geringe Unterschiede der herrschenden physikalischen Bedingungen können lokal die grössten Verschiedenheiten unter den resultierenden Gesteinen hervorrufen. Immerhin lassen sich aber stets einzelne Hauptrichtungen angeben, nach denen sich die Differentiation vollzog, und es lassen sich Kurven aufstellen, die für die Kata-, Meso- und Epi-Reihe der paragenen Klasse charakteristisch sind.“

Das Alkaligesteinsgebiet im Staate *Arkansas* zerfällt in zwei Differentiationsgruppen, für die Gesteine der *Fourche Mountains* und vom *Magnet Cove* charakteristisch sind.

a) Gesteine *der Fourche Mountains, Arkansas*. Neben *Monchiquiten* treten nephelinführende *Pulaskite*, *Nordmarkite* und *Quarzalkalisyenite* auf. Für die Kristallisationsverhältnisse ist das System *Anorthit-Pyroxen-Nephelin* massgebend. *Nephelinanwesenheit* ergibt den Unterschied gegenüber *Mount Ascutney*. Die Verhältnisse sind *kataparagen*.

b) Gesteine vom *Magnet Cove*. Die basischsten Gesteine werden hier durch Jacupirangite vertreten. Hierauf folgen direkt Ijolith, das heisst die Kombination Nephelin-Pyroxen; die Kristallisationsbahn trifft nach primärer Pyroxenausscheidung die eutektische Zusammensetzung Pyroxen-Nephelin. „Das bedeutet, dass schon in einem sehr frühen Stadium starke Abkühlung und heftige magmatische Strömungen geherrscht haben müssen, die eine völlige Umwandlung des Olivin in Klinoenstatit und demzufolge eine sehr kieselsäurearme Schmelze erzeugt haben. Dafür spricht auch der Hornblendegehalt der Jacupirangite.“ Späterhin bildeten sich mit Alkalifeldspäten die Nephelinsyenite. Pseudoleucitbildung ist schon als epiparagenes Indicium zu bewerten.

c) Gesteine von *Umptek* und *Lujavr Urt*, Halbinsel Kola, Finnland. Hommel schreibt:

„Wir hatten bei Besprechung der katorthogenen Gesteine betont, dass durch die unterdrückte Olivin-Enstatit-Umwandlung der Charakter der Schmelze nicht nur durch den Kieselsäureüberschuss, sondern auch dadurch gekennzeichnet wird, dass ihr im Konzentrationstetraeder ein Punkt im Raume primärer *Anorthitausscheidung* zukommt. Je vollständiger nun die Umwandlung des Olivins vor sich geht, umso ärmer an Kieselsäure wird die Schmelze, und es tritt schliesslich ein dem katorthogenen gerade entgegengesetzter Zustand ein, nämlich derart, dass die Konzentration der Schmelze in den Raum primärer *Nephelinausscheidung* verschoben erscheint. Derartige Schmelzen müssen also primär Nephelin zur Ausscheidung bringen, und der Beginn einer entsprechenden Kristallisationsbahn lässt sich durch eine Gerade veranschaulichen, die von der Nephelin-ecke des Konzentrationstetraeders aus verläuft und auf die Fläche eutektischer Ausscheidung von Nephelin und Pyroxen auftritt.

Diesen Fall finden wir bei den Nephelinstein der Halbinsel Kola vor.“ Der Urtit wird als diese primäre Ausscheidung von vorwiegend Nephelin angesehen, der Theralith soll ein besonderes Spaltungsprodukt sein. Die normale Folge ist Urtit-Ijolith-Nephelinsyenit. Der Lujavrit ist als Randfaciesbildung anzusprechen, mit Anreicherung an Albit.

d) Vermutlich wollte Hommel eingehend das Kristianiagebiet besprechen, die Darstellung ist jedoch nur zu einer Zusammenstellung bekannter Daten gediehen.

5. *Komplexe Differentiationssysteme*. Dieser interessante Abschnitt beginnt folgendermassen:

„In richtiger Erkenntnis der tatsächlichen Verhältnisse hat ROSENBUSCH die Alkaligesteine von den Kalkalkaligesteinen geschieden. Immer mehr war er bestrebt, diese Trennung zu einer vollständigen zu gestalten, bis er sie schliesslich in dem Satze formulierte: „Jede dieser beiden Reihen hat ihre eigenen Verbreitungsgebiete, und die Glieder jeder Reihe sind in der Mehrzahl der Fälle aufs innigste miteinander verbunden, während nirgends ein Glied der Alkaligesteinsreihe in Gebieten der Kalkalkaligesteinsreihe auftritt.“ (El. d. Gesteinslehre, 1910, S. 183.) So bezeichnet er denn auch die von J. W. MILLER beschriebene Gegend von Bedford in Ontario als das einzige Gebiet, wo Alkali- und Kalkalkali-Gesteine in örtlicher Gemeinschaft auftreten (S. 188). Es wurde schon im ersten Band wiederholt betont, dass Rosenbuschs Ausspruch in dieser weitgehenden Form nicht zu Recht besteht. Ein Beispiel engster Verknüpfung der beiden Gesteinsklassen haben wir auch vorhin bereits durch den Mount Ascutney kennen gelernt, der uns die Übergänge von der eporthogenen zur kataparagenen Reihe vor Augen führt. Wir sahen ferner, dass überhaupt überall infolge der sich stets ändernden physikalischen Bedingungen Übergänge zwischen allen Reihen und gleichzeitiges Auftreten mehrerer Reihen nebeneinander stattfindet. Es ist also nirgends eine scharfe Trennung möglich, sondern es besteht ein ganz allmählicher Übergang zwischen den beiden Extremen, der katorthogenen und epiparagenen Reihe.

Die Entstehung der Eruptivgesteine ist abhängig von den tektonischen Störungen, die sich in der festen Erdrinde abspielen. Je nach der Art und Weise, wie diese Störungen entstehen, ändern sich auch die physikalischen Bedingungen, unter denen das Magma erstarrt. Ebensogut, wie Ergussgesteine neben Tiefengesteinen auftreten können, so muss auch die Möglichkeit eines räumlichen Nebeneinanders von Alkali- und Kalkalkaligesteinen bestehen. Vorkommen dieser Art bilden in der Tat einen schlagenden Beweis dafür, dass sämtliche Gesteinsarten ein und demselben Magma entstammen. Da jedoch die physikalischen Bedingungen bei einer bestimmten Eruption in einem gewissen Umkreis gleichartig sein müssen, so kann dem räumlichen Nebeneinander *keine Gleichzeitigkeit* orthogener und paragener Gesteinsbildung entsprechen. *Rosenbuschs* Ausspruch kann also nur in dem Sinne Gültigkeit haben, dass Alkali- und Kalkalkaligesteine nicht als Glieder *ein- und derselben Eruptionsperiode* im gleichen Gebiete nebeneinander vorkommen können. Je häufiger eine Gegend von tektonischen Stö-

rungen heimgesucht wird, umso grösser muss natürlich die Mannigfaltigkeit der entstehenden Gesteine werden und umso mehr ist die Möglichkeit gegeben, im gleichen Gebiet Gesteine aller Reihen nebeneinander vorzufinden. Beispiele dieser Art bieten uns einige der gerade am besten bekannten petrographischen Gebiete, von denen wir die Gegend von *Predazzo* zur Darstellung wählen wollen. Im Gegensatz zu den vorher besprochenen einfacheren Vorgängen, bei deren Wechsel der Bereich der ursprünglichen Gesteinsklasse nicht oder doch nur wenig überschritten wird, bezeichnen wir solche, durch ihre ausserordentliche Mannigfaltigkeit sich auszeichnende Gesteinsgenesen als *komplexe Differentiationssysteme*.“

Als Beispiel betrachtet Hommel die Gesteine von *Predazzo* und *Monzoni*. Die Monzonigesteine zeigen eine erste katorthogene Entwicklung mit Anorthositen, deren Bildung jedoch bereits unter grosser Unruhe erfolgte (Übergänge zum Biotitgabbro). Später folgte wieder ruhigere Abkühlung, die eine Abscheidung der sauren Plagioklase ermöglichte (Tendenz zu Syenit).

„Die beginnende Erstarrung des Magmas vollzog sich unter katorthogenen Bedingungen bis zur Ausscheidung des Anorthosites. In diesem Stadium erfolgte die Intrusion und zwar offenbar unter Verhältnissen, die der eporthogenen Reihe entsprechen. Dafür spricht insbesondere auch das häufige Auftreten von Glimmer, der in diesen basischen Gesteinen zweifellos pernativer Natur ist. So entstand das mannigfaltig zusammengesetzte, schlierige Massiv der Mal Inverno-Riccoletta-Kette. Unter der Decke der erstarrten basischen Gesteine konnte nun die Erstarrung wiederum langsamer vor sich gehen, es entstanden syenitische Gesteine, über deren Existenz in der Tiefe uns die gangförmigen Vorkommen Aufschluss geben.“

Bedeutend komplexer sind die Verhältnisse bei *Predazzo*. „Zunächst deutet uns das vereinzelte Auftreten von anorthositischen und gabbroiden Gesteinen an, dass auch hier bei Beginn der Intrusion katorthogene Verhältnisse geherrscht haben müssen. Sie sind jedoch bei weitem nicht so ausgeprägt, wie am *Monzoni*. Der Anorthosit, Gabbrodiorit, Syenit und Alkalisyenit ergeben uns jedoch einen Differentiationsverlauf, der demjenigen des *Monzoni* auffallend ähnlich sieht. Diese Gesteine stellen aber mehr lokale Ausbildungen dar, die keineswegs der Gesamtheit der Verhältnisse im frühesten Stadium der Erstarrung entsprechen.

Das Hauptgestein dagegen ist ein Monzonit, der anscheinend saurer zusammengesetzt ist, als der Durchschnittsmonzonit vom

Monzoni.¹⁾ Peridotite fehlen im Gebiet von Predazzo vollkommen. Die basischsten Glieder werden durch Pyroxenite dargestellt. Der Hauptverlauf der Differentiation wird somit durch die Gesteine Pyroxenit, Shonkinitfacies, Normalmonzonit, Quarzmonzonit, Monzonitaplit und Granit angegeben. Die Kurve muss als typisch kataparagen angesprochen werden. Bemerkenswert ist die ausserordentlich geringe Änderung des Kalkfeldspates im Gesamtverlauf der Kurve, wodurch dieselbe nur wenig von einer Horizontalen abweicht. Daraus geht klar hervor, dass wir es vom Anfang bis zum Ende mit einer Serie von Mischgesteinen zu tun haben, d. h. dass das Magma während der ganzen Erstarrungsdauer heftigen Bewegungen und Strömungen, die die Abtrennung der ausgeschiedenen Kristalle verhinderten, ausgesetzt gewesen sein muss.

Während nun lokal noch Spuren von beginnender katorthogener Ausbildung durch das Auftreten von anorthositischen und gabbroiden Gesteinen erkennbar sind, hat die Entwicklung an anderen Orten einen vollkommen anderen Verlauf genommen. In der direkten Nachbarschaft von Predazzo, dem Zentrum dieses Eruptionsgebietes, folgte auf die Ausscheidung des Monzonites eine Granitintrusion. Der Granit entspricht der Hauptmenge der orthogenen und kataparagenen Restschmelze. Daneben müssen sich jedoch auch an Orten ausserhalb des Granitgebietes, wo während der Erstarrung des Monzonites stärker paragene Bedingungen geherrscht hatten, Schmelzen von alkalisyenitischer Zusammensetzung von den ausgeschiedenen Kristallen abgesondert haben. Diese wurden dann gelegentlich der zu allerletzt auftretenden tektonischen Störungen in die sich bildenden Spalten aufgepresst. So ergab sich dann ein System von Gängen, das mesoparagene Ausbildung zeigt. Es sind dies die Gesteine Essexit, theralitähnlicher Nephelinmonzonit, Eläolithsyenitporphyr, Nephelintinguaitporphyr und Nephelinsyenitporphyr. Wir sehen, dass sie sich in der Projektion zu einer Kurve ordnen, die einen typisch mesoparagenen Verlauf nimmt und im Foyaiteutektikum endigt. Die Kurve entspricht in hohem Masse dem Differentiationsverlauf eines Teiles der Gesteine von Umptek und Lujavr Urt.

Betrachten wir die Eruptionsfolge der Gesteine von Predazzo, so wird ohne weiteres klar, dass wir es bei diesen letzten Gangvorkommen wohl kaum mehr mit reinen Differentiationsprodukten

¹⁾ Romberg vermutet, daß möglicherweise auch das von Broegger gekaufte Stück eines Monzonites von Monzoni gar nicht von diesem Berge, sondern von Predazzo stammt.

des ursprünglichen Magmas zu tun haben können. Es steht ja ausser Frage, dass infolge des Aufquellens der monzonitischen und granitischen Massen heisse Nachschübe aus der Teufe stattgefunden haben müssen. So ist denn wohl anzunehmen, dass durch Wiederaufschmelzen von in der Teufe anstehenden syenitischen Scheidungsprodukten, im Verein mit den durch die Spaltenbildung verursachten paragenen Bedingungen, die Bildung dieser Ganggesteine verursacht wurde. Ganz besonders halte ich die Camptonite unbedingt für Gesteinsformen, die durch Wiedereinschmelzung von Pyroxeniten entstanden sind. Als die letzten Eruptionen der Gegend stellen sie gleichzeitig Anzeichen dafür dar, dass zur Zeit ihres Aufquellens frisches, undifferentiertes Magma in der Teufe anstand.

Der Wechsel von basischen und sauren Eruptionen, wie er so vielen Vulkanen eigen ist, zeigt sich auch hier, wie überhaupt im Gebiete Südtirols sehr deutlich. Predazzo liegt inmitten der gewaltigen Quarzporphyrdecke, die sich von Meran und Klausen über Bozen nach der Cima d'Asta hinzieht. Zu Anbeginn der triadischen Eruptionsfolge stellten sich am Monzoni und um Predazzo Ergüsse von Melaphyr ein. Sie stehen in Übereinstimmung mit den lamprophyrischen Charakter zeigenden Gesteinen der Adamallomasse und den Glimmerdioriten von Meran, Klausen und Brixen, deren Entstehung auf die durch die Judicarienlinie und den Gailbruch angegebenen gewaltigen tektonischen Störungen zurückzuführen ist. Der Unterschied besteht nur darin, dass der Melaphyr als Ergussgestein *hypogenen* Bedingungen unterworfen war, während der Tonalit und die Glimmerdiorite von Meran und Klausen typisch *eporthogene* Entwicklung zeigen. Dieselbe eporthogene Entwicklungsperiode setzte dann bei Predazzo und am Monzoni unter *der Melaphyrdecke* ein. Ich fasse nun den Melaphyr als ein durch Wiedereinschmelzung von basischen Gesteinen, die vom Quarzporphyr durchbrochen worden waren, entstandenes Produkt auf. Das dem Quarzporphyr nachdrängende heisse Magma hat sich durch diese Aufschmelzung Platz geschafft und gelangte dann im Sinne der monzonitischen Entwicklung zur Erstarrung. In ähnlicher Weise wären die nephelinsyenitischen und camptonitischen Ganggesteine von Predazzo als Anzeichen eines mit Wiedereinschmelzung beginnenden neuen Nachschubes von heissem Magma zu deuten. So haben wir an ein und derselben Örtlichkeit die extremsten Änderungen der Bedingungen für die Entstehung von Eruptivgesteinen zu vermerken. Beginnend mit hypogenen Gesteinen, werden wir zu orthogenen und paragenen Entwicklungen geführt, die zwar in

örtlicher Gemeinschaft stehen, jedoch verschiedenen, deutlich voneinander abzugrenzenden Eruptionsperioden angehören.“

Unvollendet geblieben ist ein Abschnitt „Wiedereinschmelzung“. Es sei jedoch die gesamte Zusammenfassung dieses Kapitels zum Abdruck gebracht, wobei eine Darstellung der Hauptverläufe der Differentiation im Tetraeder Anorthit (An)-Quarz (Qu)-Nephelin (Ne)-Pyroxen (P) gute Dienste leistet.

E. Zusammenfassung der magmatischen Differentiationsvorgänge.

„Die besprochenen Beispiele haben uns gezeigt, wie mannigfaltig sich der Kristallisationsverlauf im Magma gestalten kann. Nirgends finden wir vollkommene Einheitlichkeit, die einer einzigen Reihe unseres Systems entsprechen würde, sondern im Verlauf der Erstarrung tritt regelmässig und notgedrungen eine Veränderung der physikalischen Bedingungen ein, die die Bildung von Gesteinsarten einer benachbarten Reihe zur Folge hat. Es prägt sich dies umso deutlicher aus, je weiter wir uns von der katorthogenen Reihe, d. h. von ideal abyssischen Verhältnissen entfernen. Eine scharfe Abgrenzung der einzelnen Reihen ist daher gar nicht möglich, und wie wir an dem Beispiel der Gesteine vom Mount Ascutney und von Predazzo gesehen haben, verwischen sich auch die Grenzen zwischen den grossen Gesteinsklassen fast völlig. Immerhin sind wir in der Lage, den Differentiationsverlauf jeder einzelnen Reihe durch Heranziehung geeigneter Mittelwerte derart zu bestimmen, dass er durch eine für die betreffende Reihe höchst charakteristische Kurve gekennzeichnet werden kann. Wir erkennen dies am besten, wenn wir die erhaltenen Kurven gemeinsam zur Darstellung bringen, wie dies in Fig. 1 geschehen ist. Die Kurven der orthogenen Klasse sind auf der Tetraederfläche Anorthit-Pyroxen-Quarz zur Darstellung gebracht und diejenigen der paragenen Klasse auf der Fläche Anorthit-Pyroxen-Nephelin. Die Kurven der orthogenen Klasse sind entsprechend der Kata-, Meso- und Epireihe mit ko , mo und eo bezeichnet, diejenigen der paragenen Klasse ebenso mit kp , mp und ep .

Die Kurven zeigen nun alle Eigenarten der einzelnen Differentiationsvorgänge auf den ersten Blick.

Die *katorthogene Kurve* beginnt mit dem charakteristischen Anorthositast. Der Knick entspricht dem Auftreffen auf die Fläche binärer Ausscheidung von Plagioklas und Pyroxen, also der Bildung von noritischen Gesteinen. Es folgen darauf mikroperthit-haltige Mangerite, die zu syenitischen Formen überleiten, was sich

aus dem Verlauf der Kurve entlang der Quarznormalen ergibt. Der Endpunkt der Kristallisation liegt im Gebiet der Granite.

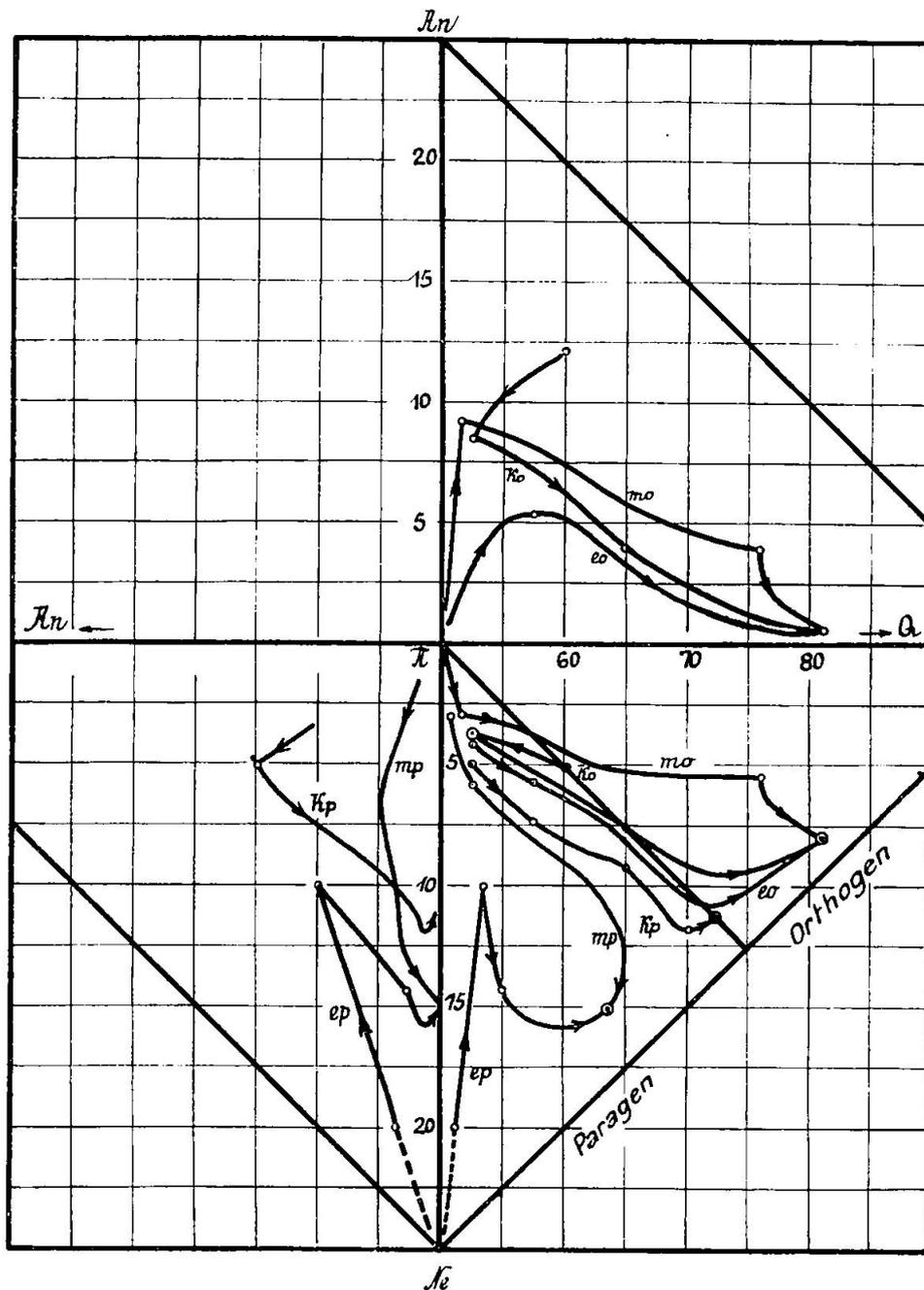


Fig. 1. Projektionen des Tetraeders Anorthit—Quarz—Nephelin—Pyroxen.

Auf verschiedenen Projektionsflächen sind Hauptkurven der
Differentiate eingezeichnet:

ko = katorthogen	eo = eorthogen	mp = mesoparagen
mo = mesorthogen	kp = kataparagen	ep = eparagen

Die *mesorthogene* Kurve hat keinen Anorthositast. Hier findet primär Ausscheidung von vorwiegend diopsidischen Pyroxenen statt.

Die Fläche gabbroider Gesteine wird also von unten her, von der Pyroxenecke aus getroffen. Auf die Gabbros folgen Diorite, die über Quarzdiorite zu den Graniten führen. Hier trat zu einem Zeitpunkt, der am Ende der Gabbrobildung liegt, beschleunigte Abkühlung ein, derzufolge die Trennung basischer und saurer Feldspäte unterblieb, sodass Syenitbildung nicht eintreten konnte und an ihrer Stelle Diorite entstanden.

Die *eporthogene Kurve* deutet auf beschleunigte Abkühlung in einem noch früheren Stadium. Es mussten daher schon frühzeitig Mischgesteine entstehen. Die Folge davon sind pernative Hornblende und Glimmer führende Gesteine von lamprophyrischem Charakter, wie Camptonite und Gabbrodiorite, Nephelin tritt zwar noch nicht auf, seine Gegenwart wird jedoch durch alkalische Hornblenden angedeutet. Eine darauf folgende Periode der ruhigen Erstarrung ermöglicht die Abtrennung der sauren Plagioklase, sodass syenitische Gesteine entstehen können, die schliesslich zu den Graniten hinüberleiten.

Die *kataparagene Kurve* hat grosse Ähnlichkeit mit der eporthogenen, wie ja überhaupt zwischen den beiden Reihen der engste Zusammenhang besteht. Schon bei den basischsten Gliedern zeigt sich diese Verwandtschaft, wie z. B. bei den Glimmerperidotiten, die in geologischer Verknüpfung sowohl mit orthogenen (Harz), wie mit paragenen (Arkansas) auftreten. Eine Trennung der beiden Reihen lässt sich nur dadurch aufrecht erhalten, dass wir der kataparagenen Reihe nur solche Gesteine zuweisen, in denen Nephelin bereits deutlich auftritt. Der Differentiationsverlauf führt somit von Theralithen und Essexiten aus zu Monzoniten, Alkalisyeniten und Alkaligraniten.

Die *mesoparagene Kurve* geht von basischen Gesteinen aus, bei denen der alkalische Charakter noch mehr ausgeprägt ist. Es sind dies in der Hauptsache die Shonkinite. Die Kurve verläuft von da über Nephelinmonzonite zu nephelinführenden Alkalisyeniten, um im Nephelin-Alkalifeldspat-Pyroxen-Eutektikum mit der Bildung von Foyaiten ihren Abschluss zu finden.

Die *epiparagene Kurve* zeigt wiederum einen gänzlich anderen Verlauf, der jedoch in gewissem Sinne demjenigen der katorthogenen Kurve analog ist. Hier wie dort beginnt die Kurve mit einem rückläufigen Ast, der der Ausscheidung eines einzelnen Minerals entspricht. Hier gelangt primär Nephelin zur Ausscheidung, welchem Vorgang der Urtit seine Entstehung verdankt. Die Kristalli-

sationsbahn erstreckt sich daher von der Nephelinecke des Konzentrationstetraeders in der Richtung auf die Fläche binärer Ausscheidung von Nephelin + Pyroxen zu und führt so zu den Ijolithen. Sie verläuft dann weiter entlang dieser Fläche, um nach Abscheidung von Sodalithsyeniten im Foyaiteutektikum zu endigen.

Wie wiederholt betont, führen wir die Mannigfaltigkeit der Differentiationsvorgänge lediglich auf die stattgehabte oder unterbliebene Umwandlung des Olivins in Klinoenstatit zurück. Wir wollen damit keineswegs bestreiten, dass lokal auch analoge Veränderungen durch Wiedereinschmelzung oder durch Assimilation zustande kommen konnten. Die Übereinstimmung der Erscheinungen unter den verschiedenen örtlichen Verhältnissen an allen Punkten der Erde zwingt uns jedoch zu dem Schluss, dass in der Hauptsache die Ursache der verschiedenen Ausbildung der Gesteine nur in einer Änderung der physikalischen Bedingungen, aber nicht in einem verschieden zusammengesetzten oder durch Assimilation veränderten Magma zu suchen sei. Für diese Auffassung spricht ganz besonders auch das jeweilige Auftreten oder Fehlen bestimmter basischer Mineralien in den sauren Spaltungsprodukten. Ein solches Mineral ist der Hypersthen oder jeder andere rhombische Pyroxen. Granite, die Hypersthen führen, müssen denselben notwendigerweise infolge von Vermengung mit basischen Gesteinen mitgerissen haben. Deutlich zeigt sich das beim Hypersthengranit von Birkrem, der eine Randfacies von Norit führt. Offenbar hat also der Granit bei der Intrusion einen wahrscheinlich nur halb verfestigten Norit durchbrochen, den er nachher wieder zur Ausscheidung brachte. Auf jeden Fall beweist das Auftreten von Hypersthen in einem vom Beginn der Kristallisationsbahn so weit entfernten Gestein, dass in einem frühen Stadium grosse Mengen dieses Pyroxens ausgeschieden worden sein müssen. Das gibt sich ferner auch dadurch kund, dass sämtliche im geologischen Verband stehende Gesteine Hypersthen führen. Rhombischer Pyroxen kann sich aber nur dann in grösseren Mengen ausscheiden, wenn während seiner Kristallisation denkbar ruhigste, d. h. katorthogene Verhältnisse herrschten. Ist dies nicht der Fall, befindet sich das Magma dauernd in Bewegung, so muss durch Vereinigung des $MgSiO_3$ - und des $CaSiO_3$ -Moleküls Diopsid entstehen. Die Folge davon ist, dass die nachträglichen Scheidungsprodukte keinen rhombischen Pyroxen mehr, sondern nur Diopsid bzw. diopsidische Pyroxene beigemischt enthalten können. Die Tatsache, dass rhombische Pyroxene in den Alkaligesteinen so gut wie vollständig fehlen, ist ein schlagender

Beweis für die Richtigkeit unserer Anschauungen. Dass auch die Auffassung der Pyroxene als durch unvollkommene Abtrennung verschleppter Produkte im Granit den Tatsachen entspricht, ergibt sich aus Folgendem. Die eigentliche Form des Graniteutektikums stellt der Biotitgranit dar. Er kann sich in vollkommener Reinheit nur dann bilden, wenn die restliche Schmelze lange Zeit der grössten Ruhe überlassen war, solange nämlich, bis sämtliche basischen Bestandteile ausgeschieden und erstarrt sind. Die sogenannten Alkaligranite, die Alkalipyroxene und -amphibole beigemischt enthalten, sowie die Hypersthengranite entsprechen dieser Bedingung nicht. Sie sind offenbar zur Intrusion gelangt, bevor die basischeren Glieder vollkommen erstarrt waren. Stellen wir uns vor, dass die betreffenden Glieder vollkommen erstarrt gewesen wären, und die granitische Schmelze noch lange Zeit in der Teufe eine Periode der grössten Ruhe durchgemacht hätte, so ist klar, dass alle basischen Bestandteile restlos hätten ausgeschieden werden müssen, und dass somit ein reiner Biotitgranit oder sogar ein Orthoklas-Plagioklasgranit zur Intrusion gelangt wäre. Beweise dafür, dass diese Voraussetzung richtig ist, bieten uns die zuletzt intrudierten Granite vom Mount Ascutney- und Kristianiagebiet. In beiden Fällen hat ein reiner Biotitgranit typische Alkaligesteine durchbrochen, ohne im geringsten irgendwelche Bestandteile zu enthalten, die ihn als Alkaligranit bezeichnen liessen.“

(Fortsetzung und Schluss folgt.)

Manuskript eingegangen: 17. August 1928.