

# Beziehungen zwischen normativem und modalem Anorthitgehalt in Eruptivgesteinen und kristallinen Schiefern

Autor(en): **Wenk, Eduard**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **28 (1948)**

Heft 1: **Festschrift P. Niggli zu seinem 60. Geburtstag den 26. Juni 1948**

PDF erstellt am: **17.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-23048>

## **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.

# Beziehungen zwischen normativem und modalem Anorthitgehalt in Eruptivgesteinen und kristallinen Schiefen

Von *Eduard Wenk*, Basel

Bei der Diskussion petrogenetischer Fragen bilden die Beziehungen zwischen Gesteins- und Mineralchemismus ein wichtiges Kriterium. In einer langen Reihe von Arbeiten hat P. NIGGLI über dieses Thema Grundlegendes und Wegweisendes ausgesagt und überdies das Studium dieser Beziehungen ungemein erleichtert durch die Einführung der Äquivalentnormen. Seinem Beispiel und seinen Anregungen folgend, muss weiteres Datenmaterial gesammelt und verarbeitet werden.

In dieser Arbeit soll geprüft werden, welche Beziehungen bestehen zwischen Gesteinschemismus und Plagioklas-Zusammensetzung in Eruptivgesteinen und in kristallinen Schiefen. Es soll damit untersucht werden, ob Gesteine, die aus Schmelzflüssen erstarrt sind, und solche, die bei ihrer Prägung stets überwiegend im festen Zustand waren, sich in dieser Hinsicht unterscheiden. Auch die Verhältnisse bei den Migmatiten sollen gestreift werden.

Als Darstellungsschema wird einesteils das Dreieck Or Ab An benützt. Dieses Diagramm ist sehr ergiebig. Es hat aber den Nachteil, dass bei der Projektion von ganzen Gesteinsserien und bei starkem Zonarbau der Plagioklase das Bild unleserlich wird durch die vielen sich durchkreuzenden Verbindungsgeraden zwischen den Projektionspunkten von Gestein und zugehörigem Feldspat. Es zeigte sich auch, dass in Eruptivgesteinen die Plagioklas-Zusammensetzung mit dem normativen Verhältnis  $\frac{An}{Ab + An}$  gut übereinstimmt. Deshalb durfte die Komponente Or, die zudem im Plagioklas optisch nicht bestimmt werden kann, vielfach ausgeschaltet werden, und so entstanden die für unsere Zwecke besonders geeigneten Diagramme, in denen jeweils der normative An-Gehalt (Abszisse) dem modalen An-Gehalt (Ordinate) gegenübergestellt wird. In diese Projektion

(Fig. 1a) kann die aus dem BOWEN'schen Schmelzdiagramm (4) sich ergebende Kurve eingetragen werden, welche die Zusammensetzung der ersten, basischsten Plagioklase angibt, die mit bestimmten Schmelzen im Gleichgewicht sind. Eine zweite, für die Untersuchung von Gläsern wichtige Kurve entspricht der Schlusszusammensetzung der Schmelze bei idealer Reaktion zwischen Kristall und Schmelze. Im einfachen System Ab-An liegen bei idealer Reaktion zwischen Kristall und Schmelze die Projektionspunkte auf der von links unten nach rechts oben verlaufenden Diagonale. Bei gehemmter Reaktion und dementsprechend starker Zonierung der Plagioklase gibt im Diagramm eine vertikale Gerade die Variationsbreite des An-Gehaltes an. Die Gerade kann vom Albit (Randzone des Kornes) bis zur Kurve der Erstkristalle (Kern) hinaufreichen; sie darf diese Linie aber nicht überschreiten, denn der Bereich oberhalb der Kurve ist gewissermassen verboten. Dies gilt für das einfache System Ab-An.

Es soll nun an Beispielen geprüft werden, ob die am einfachen System Ab-An erhaltenen Befunde auch für Schmelzflüsse komplexerer Zusammensetzung und für gesteinsbildende Plagioklase gelten. Bei Eruptivgesteinen könnte ein abweichendes Verhalten durchaus erwartet werden. Es wäre zum Beispiel möglich, dass der generelle Verlauf in unserem Diagramm nicht streng der Diagonale folgte. Die Projektionspunkte, resp. die Schwerpunkte der Projektionsgeraden (mittlere Plagioklas-Zusammensetzung) müssen in unserem Schema ja nur dann auf dieser 45°-Geraden liegen, wenn folgende Voraussetzungen erfüllt sind:

1. Die in der Schmelze und im Plagioklas auftretende Komponente Or darf keinen wesentlichen Einfluss haben auf das Verhältnis Ab:An, und überhaupt sollten zusätzliche Stoffe keine merkbar chemischen Verschiebungen im System Ab-An zur Folge haben.

2. Das fertige Gestein sollte in bezug auf die Feldspatkomponenten die gleiche Zusammensetzung haben wie der magmatische Schmelzfluss, aus dem die im Gestein vorhandenen Kristalle ausgeschieden wurden. Die frühere Geschichte dieses Schmelzflusses spielt bei unseren Untersuchungen keine Rolle.

3. Andere Mineralkomponenten dürfen Ab und An nicht in wesentlich anderen Proportionen einbauen als der Plagioklas. Dies wäre nur zulässig, wenn der Einfluss des einen Minerals auf das Plagioklassystem durch eine dritte Mineralart kompensiert würde (z. B. Ab in Alkalifeldspat und entsprechender An-Überschuss in Hornblende).

Es wird ausschliesslich mit Beispielen argumentiert, bei denen Gewähr besteht für Zuverlässigkeit sowohl der chemischen Gesteins-

analyse als auch der Plagioklas-Bestimmung. Die optischen Messungen sind einheitlich nach der U-Tischmethode (Kurven von REINHARD) durchgeführt, unter Mitbenützung der Zonenmethode (RITTMANN (16)). Fig. 1b betrifft eine Tiefengesteinsserie aus Peru und stützt sich auf Untersuchungen von BEARTH (2). Die Projektionsgeraden der etwas zonaren Plagioklase sind längs der eingezeichneten Diagonale gestaffelt angeordnet. Nur gegen die Ab-Ecke zu kann ein schwaches Abbiegen von dieser Linie festgestellt werden, durch Bildung von etwas zu basischem Plagioklas (Einfluss von Na-Kalifeldspat). Fig. 1c ist ein Sammeldiagramm von plutonischen Gesteinen aus dem Banat (CODARCEA (6) und GHIKA (10)) und von Borneo (eigene Untersuchungen); diese Gesteine sind alle in relativ geringer Erdrindentiefe erstarrt, und ihre Plagioklase zeigen ausgeprägten Zonarbau. Auch hier nimmt der modale An-Gehalt proportional zum normativen An-Gehalt zu. Gleich wie in der Peru-Serie kann nur bei den Ab-reichen Typen eine geringfügige Entfernung des generellen Verlaufes von der Diagonale festgestellt werden. Zudem zeigt sich hier sehr schön, dass die An-Werte der basischen Kerne die BOWEN'sche Kurve oft erreichen; aber nur ganz ausnahmsweise in den oberhalb gelegenen „verbotenen“ Bereich hinaufreichen. Es muss hier allerdings einschränkend erwähnt werden, dass die Erstkristalle in diesen Gesteinen wohl selten mehr vorhanden sind. Erst in den rasch erstarrten vulkanischen Gesteinen, bei denen die Erstkristalle meist erhalten sind, ergeben sich systematische Verstöße gegen die Kurve von BOWEN; ganz besonders bei den intermediären, stark viskosen Typen. Als Beleg diene Fig. 1d, in die verschiedene indonesische Vulkanite eingetragen wurden (nach Untersuchungen von ESENWEIN (9) und vom Verfasser). Da in diesen Vulkaniten ein Teil des Ab und An in den nicht bestimmbaren Grundmasse-Plagioklasen und in der Glasbasis steckt, kann über die Beziehung zur Diagonale nichts ausgesagt werden. Ein besonders instruktives Beispiel zeigt Fig. 1e, das der Arbeit von ESENWEIN (8) über den Tanggamus-Vulkan in S-Sumatra entnommen ist. Dieser Vulkan hat mesokrate basaltische und später stark leukokrate liparitische Magmen gefördert. Die Kerne der Plagioklas-Einsprenglinge der Basalte sind auch hier basischer als die Erstkristalle, welche im einfachen System Ab-An auftreten. Resorbierte Reste dieser basaltischen Plagioklase treten im Zentrum der viel saureren Plagioklase der liparitischen Gesteine auf und beweisen damit, dass Kristalle der einen Schmelze in einen Schmelzfluss ganz anderer Zusammensetzung gelangt sind. In Fig. 1f sind einige von BARBER (1) untersuchte plutonische Ge-

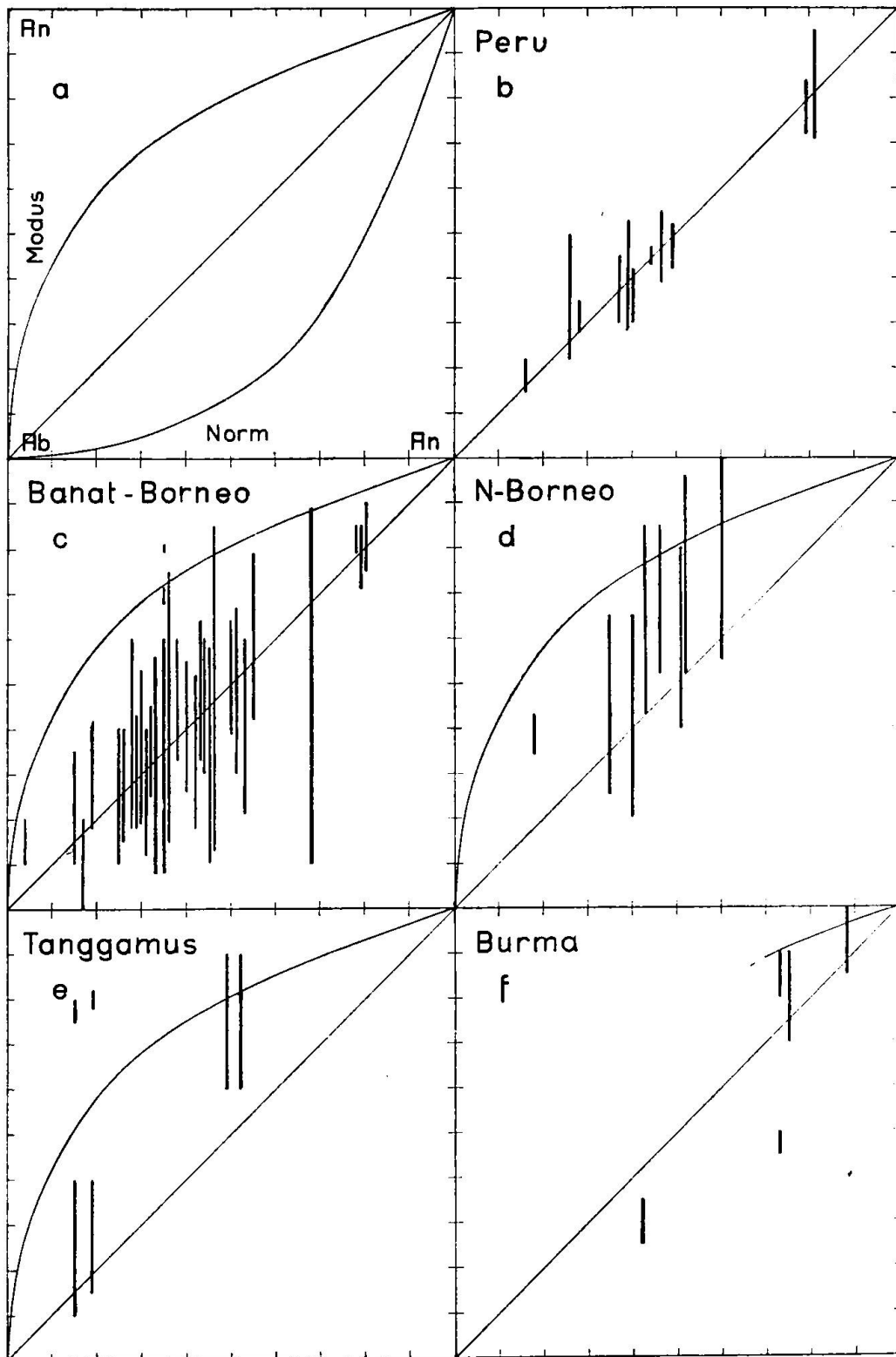


Fig 1

steine dargestellt. Das einzige wesentlich vom normalen Verlauf abweichende Gestein mit dem normativen An-Gehalt von 42 % ist ein „quartz-oligoclase-bearing hybrid rock“, also kein normales magmatisches Gestein. Die Beispiele lassen jedenfalls erkennen, dass der modale An-Gehalt in plutonischen Gesteinen sehr gut mit dem normativen An-Gehalt übereinstimmt, und dass die Kerne der Plagioklas-Einsprenglinge von Vulkaniten der Kalk-Alkalireihe basischer sind als die im einfachen System Ab-An experimentell festgestellten Erstkristalle. In bezug auf die Seite 381 diskutierten Überlegungen kann nach der bisherigen Erfahrung folgendes festgestellt werden: 1. In den untersuchten Kalk-Alkali-Gesteinen scheinen zusätzliche Stoffkomponenten keinen wesentlichen direkten Einfluss auf das Verhältnis Ab:An im Plagioklas zu haben (wohl aber indirekten Einfluss durch Alkalifeldspat-Bildung). 2. Unterschiedliche Migrationen von Kristall und Schmelze spielen nur bei Vulkaniten eine wichtige Rolle. Plutonite und Ganggesteine hingegen dürften — abgesehen von den leichtflüchtigen Bestandteilen — die gleiche Zusammensetzung haben wie der magmatische Schmelzfluss, aus dem die im Gestein vorhandenen Kristalle ausgeschieden worden sind. 3. Von den übrigen, Ab und An konsumierenden Gemengteilen scheint der Alkalifeldspat in den An-armen Gesteinen die Bildung von etwas zu basischem Plagioklas dadurch zu begünstigen, dass er ca. 20 bis 40 % Ab einbaut. Ein analoger Einfluss der Hornblende (Bildung von zu Ab-reichem Plagioklas) konnte nirgends festgestellt werden; dies stimmt mit der in Lit. 20 gemachten Feststellung überein, dass in Eruptivgesteinen die An-Gehalte von Hornblende und koexistierendem Plagioklas gut übereinstimmen.

Wie steht es nun bei den metamorphen Gesteinen? Diese Frage ist heute akut und liegt gewissermassen in der Luft. Mancher Petrograph hat schon feststellen müssen, dass hier die Verhältnisse anders liegen als bei den Eruptivgesteinen; aber eine systematische Gegenüberstellung steht noch aus.

In einer 1935 erschienenen Arbeit (19) über Gesteine aus dem Stockholmer Schärenhof ist gezeigt worden, dass in den Tiefengesteinen von Ornö Huvud eine klare Beziehung besteht zwischen Farbzahl und Plagioklas-Zusammensetzung, dass aber in den vergesellschafteten metamorphen Gesteinen die Beziehungen anderer Art sind. Wie gegen 300 Messungen zeigten, sind in einer Bändergneissserie nur zweierlei Plagioklase vorhanden: ein Oligoklas (21—28 % An) in den leuko- bis mesokraten Bändern und ein Andesin (36—40 % An) in den meso- bis melanokraten Typen. Die Schei-

zung ist sehr scharf und eindrücklich. Der Verfasser glaubte damals, dass etwas Exzeptionelles vorliege; er ist aber seither immer mehr zur Einsicht gekommen, dass diese Verhältnisse charakteristisch sind für viele kristalline Schiefer. Hatte sich schon 1934 (18, S. 253) ergeben, dass in einer Hornblendegneis-Amphibolitserie aus dem Silvretta-Kristallin der An-Gehalt der Plagioklase bei einer Variation der Farbzahl von 15 bis 40 Vol. % gleich bleibt, so bestätigt jetzt die statistische Bearbeitung des von Dr. F. SPAENHAUER freundlicherweise zur Verfügung gestellten Materials die grosse Persistenz des gleichen Plagioklases in ganz verschiedenartigen Typen von oberostalpinen Gneisen.

Diese Beziehungen zwischen Gesteinsmodus und Plagioklaszusammensetzung, die sich leicht durch weitere Beispiele belegen lassen, ergeben gewisse Anhaltspunkte. Wie gestaltet sich aber die Gegenüberstellung von normativem und modalem An-Gehalt? Diese Frage sei anhand von Material aus dem Tessiner Penninikum diskutiert.

Als erstes Beispiel werden die prä- bis parakristallin deformierten granitoiden Gesteine der Cocco-Masse und der Verzasca-Deckenkerne gewählt. Die aus PREISWERKS (14) und neuen, unpublizierten chemischen Analysen berechneten Daten und die vom Verfasser ausgeführten Plagioklas-Bestimmungen (Drehtisch, unter Mitbenützung der Zonenmethode) dienen zur Konstruktion der Figuren 2a und 2b. Diese geben ein überraschend klares Bild: Die von PREISWERK (14) zur chemischen Analyse ausgewählten, repräsentativen Cocco-Gesteine führen alle einen Andesin mit durchschnittlich 35 % An; unabhängig davon, ob das Gestein gabbroide, quarzdioritische oder granodioritische Zusammensetzung hat. Der Hornblende-Gabbro P. 577 enthält als Einschlüsse in diesen Andesinkörnern zudem noch resorbierte Reste von Labrador. Die von verschiedenen Autoren (PREISWERK, GUTZWILLER, WENK) als charakteristische Typen der Verzasca-Kerngneise betrachteten, chemisch analysierten 10 Gesteine führen ebenfalls alle denselben Plagioklas; aber im Gegensatz zu den Cocco-Feldspaten einen Oligoklas mit ca. 20 bis 27 % An. Dieser Oligoklas konnte auch in allen anderen mikroskopisch untersuchten Proben der leukokraten plagioklasreichen Verzasca-Gneise festgestellt werden, und er ist sehr verbreitet in den Biotit-schiefergneisen, Bändergneisen und Amphiboliten, welche die granitoiden Kerne umhüllen oder darin eingelagert sind. In einem seltenen Vertreter der Verzasca-Gneise, einem mesokraten Hornblende-Plagioklasgneis von Corgello mit einem normativen An-Gehalt von

63 % tritt aber der für die Cocco-Gesteine typische Andesin mit 32—37 % An auf. Ein dritter Plagioklastyp, ein saurer Oligoklas mit 10 bis 15 % An tritt in PREISWERKS Ruscada-Gneis (P. 549) und in den nach H. BUCHMANN'S Feldbefunden mit diesem zusammenhängenden aplitischen Gesteinen (z. B. P. 567) in der Cocco-Masse auf. Solche saure Oligoklase finden sich auch in den chemisch noch nicht untersuchten, geologisch vom Verzasca-Gneis getrennten, grossen Augengneiskomplexen der Verzasca.

In Fig. 2a und 2b fallen vor allem folgende zwei Tatsachen auf:

1. Der Umstand, dass die teils strukturell homogenen und magmatitartigen, teils grobgemengten chorismatischen Gesteine und die dominierenden typischen Gneise des zentralen Maggia-Verzasca-Gebietes zusammen ein einheitliches Bild ergeben; dass sie aber ganz andere Beziehungen zwischen normativem und modalem An-Gehalt erkennen lassen als normale Eruptivgesteine. Anstelle des eng gestaffelten Verlaufes längs der Diagonale ist im Diagramm eine treppenförmige Anordnung mit breiten horizontalen Stufen festzustellen.

2. Das Diagramm ergibt eine klare Scheidung zwischen den Kerngesteinen des Cocco-, Verzasca- und Ruscada-Komplexes nach dem An-Gehalt der Plagioklase. Diese Erscheinung, dass die geologisch getrennten Körper sich auch in der mittleren Zusammensetzung der Plagioklase unterscheiden, darf nicht übergangen werden. Immerhin ist einschränkend festzuhalten, dass sie einstweilen nur für die repräsentativen Hauptgesteine nachgewiesen ist. Die begonnenen Untersuchungen an den nicht-granitoiden Einlagerungen und Hüllen der Verzasca-Kerngneise und an den selteneren mesokraten Abarten der Verzasca-Gneise zeigen, dass zwar im ganzen Gebiet der Verzasca-Gneise und in den Ortho- wie in den Paragesteinen ein Oligoklas mit 20—28 % An weitaus dominiert, dass aber in reichlich Biotit und Hornblende oder Epidot führenden mesokraten Varietäten der gleiche Andesin auftritt wie im Cocco-Gneis. Wir pflichten der Ansicht PREISWERKS (14) durchaus bei, dass Cocco- und Verzasca-Gneise genetisch zusammengehören, und dass die Cocco-Masse den basischen, die Verzasca-Masse den saureren Teil der Intrusivmasse darstellt.

Um abzuklären, ob diese Befunde vielleicht zufällig sind, wurde als zweites Beispiel der Leventina-Gneis herangezogen. Die von CASASOPRA (5, p. 617—19) gegebenen Daten dienen zur Konstruktion von Figur 2c. Dieses Diagramm mit seiner dreistufigen Treppenanordnung bestätigt die an den Cocco-Verzasca-Ruscada-Gesteinen



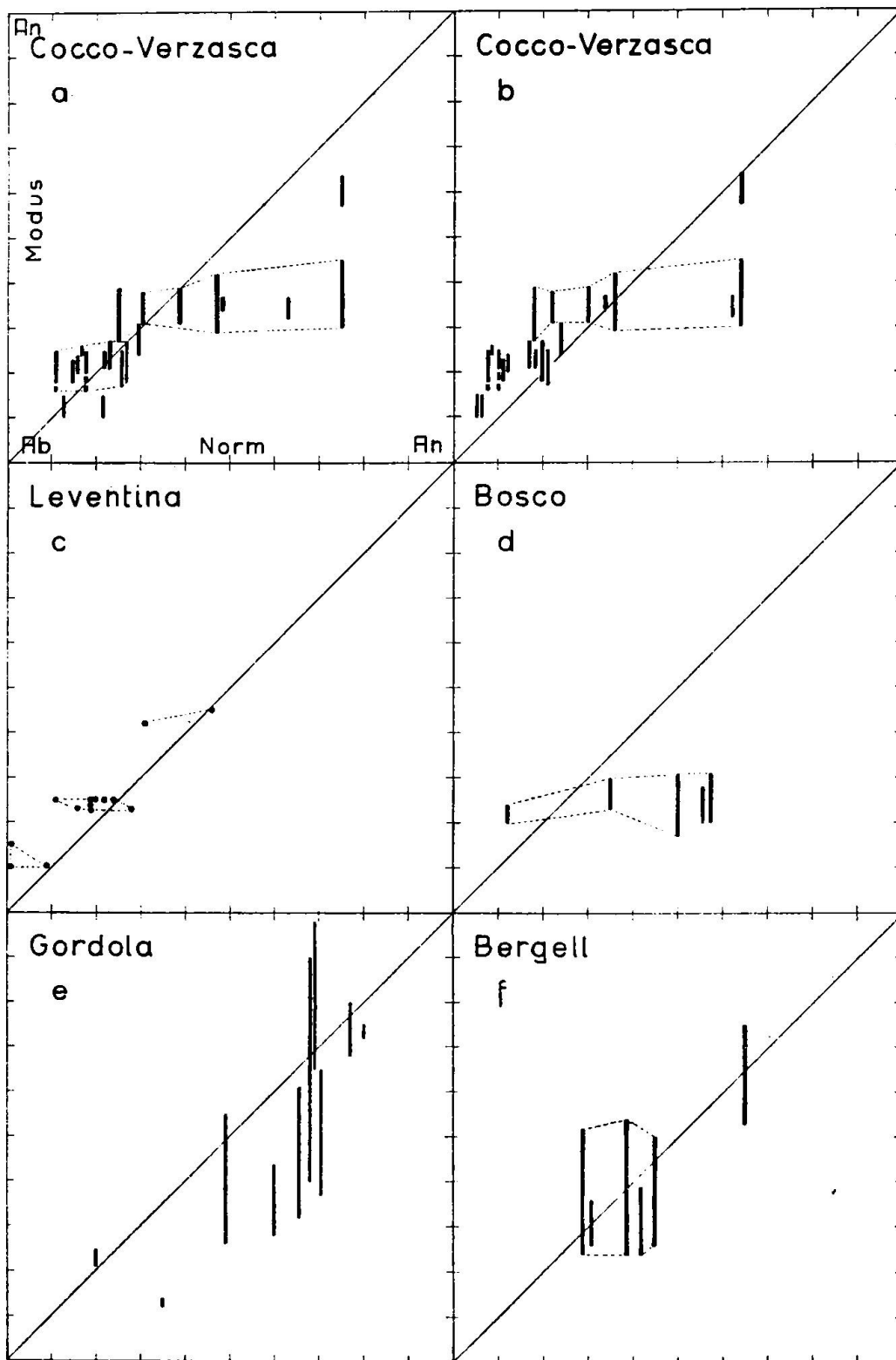


Fig. 2

In Figur 2b ist als Abszisse das Verhältnis  $\frac{\text{An}}{\text{Or} + \text{Ab} + \text{An}}$  aufgetragen;  
 in allen übrigen Figuren das Verhältnis  $\frac{\text{An}}{\text{Ab} + \text{An}}$ .

erhaltenen Befunde. Die beiden unteren Stufen der Fig. 2a und 2c entsprechen sich.

Als drittes Beispiel (Fig. 2d) wurden die von O. GRÜTTER beschriebenen unterpenninischen Gneise des Bosco-Gebietes (W-Tessin) gewählt. GRÜTTER hat schon 1929 (11, p. 88) festgestellt, dass — abgesehen vom Albit, der in Aplitgneisen und granulitartigen Muskowit-Alkalifeldspatgneisen auftritt — die Plagioklase vorwiegend durch Oligoklas vertreten sind, dessen Zusammensetzung in allen Gesteinen auffallend konstant ist. Das zu den von GRÜTTER publizierten 5 Gesteinsanalysen gehörende Originalmaterial ist dem Verfasser in dankenswerter Weise zur Plagioklas-Bestimmung überlassen worden. Wie Fig. 2d zeigt, ist in allen 5 chemisch analysierten Gesteinen der gleiche Oligoklas (ca. 23 bis 28 % An) vorhanden. Basischere Plagioklase scheinen dem Gebiet zu fehlen. Das einzige in Fig. 2d oberhalb der Diagonalen gelegene Gestein führt reichlich Alkalifeldspat; die unterhalb dieser Geraden gelegenen Typen mit zu saurem Plagioklas enthalten Epidot-Klinozoisit und z. T. auch Hornblende.

Die beschriebenen Diagramme von penninischen Tessinergesteinen zeigen übereinstimmend, dass mit zunehmendem normativem An-Gehalt der modale An-Gehalt nicht progressiv zunimmt, sondern lange auf einem bestimmten Niveau stehen bleibt, dann unvermittelt auf eine höhere An-Stufe springt und dort ebenfalls wieder über einen weiten Variationsbereich des normativen An-Gehaltes um einen konstanten Mittelwert schwankt. Dieses Verhalten ist offenbar charakteristisch für kristalline Schiefer (Silvretta, Ornö Huvud). Dass auch die ihrer Textur und ihren Intrusionsverhältnissen nach z. T. als Eruptivgesteine und als chorismatische Gesteine aufzufassenden Cocco-Gesteine die gleichen Züge zeigen, ist bemerkenswert. Es sei noch ergänzt, dass in unterostalpinen Gesteinsserien nur die unterste An-Stufe (Albit, ev. Albit/Oligoklas) vorhanden ist. Diese Erscheinung ist altbekannt (Serizitisierung, Saussuritisierung), und über die Genese der sauren Plagioklase, ihrer Füllmineralien und der sie umgebenden Kleinkörner ist schon viel diskutiert worden. Wir beschränken die Diskussion hier auf die vollkristallinen, gleichkörnigen Tessinergneise.

Welche Wechselbeziehungen bestehen zwischen der trotz stark variierendem Gesteinschemismus konstant bleibenden Plagioklas-Zusammensetzung und dem übrigen Mineralbestand? Plagioklas ist in den Cocco- und Verzasca-Gesteinen der weitaus wichtigste Konsument von Ab und An. Weicht die Plagioklas-Zusammensetzung

wesentlich vom normativen An-Gehalt ab, so muss der im Gestein vorhandene Restbetrag von Ab oder An in einer anderen Mineralphase auftreten. Als solche Gemengteile kommen vor allem Alkalifeldspat (nach Teilanalysen von PREISWERK, 14, p. 44, haben Alkalifeldspate aus zwei verschiedenen Tessinergesteinen übereinstimmend die Zusammensetzung 62,5 % Or, 37,5 % Ab), Glimmer, Hornblende und Epidotminerale in Betracht. Tatsächlich tritt in Gesteinen mit zu anorthitreichem Plagioklas (Projektionsort oberhalb der Diagonalen) stets Alkalifeldspat und meist auch heller Glimmer auf\*). Sehr deutlich gilt diese Beziehung für die Verzasca-Gneise, in denen bei der Anordnung von Fig. 2a der Gehalt an Alkalifeldspat von rechts nach links hin zunimmt. Ganz analog führen von den chemisch analysierten Cocco-Gesteinen nur die Typen mit zu basischem Plagioklas wesentliche Mengen von Alkalifeldspat. Umgekehrt enthalten die Gesteine mit zu saurem Plagioklas reichlich Epidotminerale, oft zusammen mit Hornblende, oder sie führen nur Hornblende. Die Hornblende ist hier — im Gegensatz zu den bei echten Eruptivgesteinen gefundenen Beziehungen — wesentlich anorthitreicher als der assoziierte Plagioklas. Der bei der Bildung eines zu sauren Plagioklases eingesparte An-Gehalt geht in die Hornblende und in die Epidotminerale ein.

Es sei hier auf eine mögliche Fehlerquelle bei den Vergleichen hingewiesen: In Gesteinen, welche reichlich Biotit neben Hornblende führen, wird bei der Normberechnung ein zu hoher normativer An-Gehalt berechnet, indem dem Zusammenauftreten von Sp, Hz und ev. C (im Biotit) und von Cs (in Hornblende) nicht Rechnung getragen wird. Bei der Berücksichtigung des Tonerde-Überschusses im Biotit erniedrigt sich der normative An-Gehalt.

Damit sind wir bei der Hauptfrage angelangt: wie kommt in unseren Schemata der horizontale, resp. stufenartige Verlauf der Tessinergneise zustande? In den untersuchten geologischen Einheiten gibt es eine, oder zwei bis drei verschiedene, sich mit zunehmender Basizität des Gesteins ablösende und somit beschränkt vom Gesteinschemismus abhängige Plagioklas-Zusammensetzungen. Der Plagioklas variiert in manchen Serien wenig um den konstanten An-Mittelwert, der dadurch beibehalten werden kann, dass im Gestein vorhandenes überschüssiges Ab hauptsächlich in Alkalifeldspat, überschüssiges An vorwiegend in Hornblende und Epidotminerale eingeht. Der Plagioklas kann im Verhältnis zum normativen An-Gehalt

\*) Dies gilt nur, wenn als normativer An-Gehalt das Verhältnis  $\frac{\text{An}}{\text{Ab}+\text{An}}$  berechnet wird (Fig. 2a), nicht aber für das Verhältnis  $\frac{\text{An}}{\text{Or}+\text{Ab}+\text{An}}$  (Fig. 2b).

zu sauer oder zu basisch sein. Der letztere Sachverhalt scheint bisher meist übersehen worden zu sein. Der mit dem zu basischen Plagioklas assoziierte und dessen Ab-Fehlbetrag kompensierende Alkalifeldspat ist im Gleichgewicht mit diesem Plagioklas. Dies gilt auch für die mit dem gleichen, aber diesmal „zu sauren“ Plagioklas koexistierenden Mineralien Hornblende oder Epidot-Klinozoisit. Solche Oligoklas/Andesin und Epidotmineralien führenden Gesteine sind von BECKE (3, p. 29) als Floitite bezeichnet worden (siehe auch KÖHLER (13)). Der Plagioklas, der bei wechselndem Gesteinsmodus und Gesteinschemismus seine konstante Zusammensetzung beibehält, ist für die eigenartige Aufteilung des Ab und An verantwortlich. In einem bestimmten geologischen Komplex mit seinem gegebenen stofflichen Variationsbereich sind unter den herrschenden physikalischen Bedingungen offenbar gewisse Plagioklaszusammensetzungen stabil, andere instabil. Insbesondere werden bestimmte maximale An-Werte, die je nach der geologischen Stellung verschieden sind, nicht überschritten; basischere Plagioklase sind instabil. Der für einen geologischen Komplex charakteristische und leitende Plagioklas ist das für die betreffende Mineralfazies typomorphe Mineral, das grossen Einfluss hat auf die Bildung anderer Gemengteile, und das die Möglichkeiten der Heteromorphie wesentlich einschränkt. Wenn in einer Gesteinsserie mehrere Plagioklase nebeneinander auftreten, so scheint für die Plagioklasfazies jener von diagnostischem Wert zu sein, der mit Epidotmineralien oder mit Hornblende koexistiert. In den Cocco-Gesteinen und in den mesokraten Verzasca-Gneisen sind Epidot und Hornblende im Gleichgewicht mit Andesin; dies ist eine kritische Kombination. In den Verzasca-Gneisen ist bisher (210 Dünnschliffe geprüft) Epidot nie zusammen mit Oligoklas beobachtet worden. Im Bosco-Gebiet ist dies hingegen der Fall und die Regel. In oberpenninischen und unterostalpinen Gesteinen ist sodann nur die Kombination Epidot-Albit (resp. Albit/Oligoklas) zu finden. Die Gebiete mit verschiedener Zusammensetzung der Plagioklase sollten voneinander abgegrenzt werden; solch eine Kartierung, wie sie in bezug auf das Tessiner Penninikum im Gange ist, verspricht interessante Resultate. Eine analoge Karte hat kürzlich A. KVALE (21) publiziert, der an norwegischem Material ähnliche Verhältnisse entdeckt hat.

Die bisher erzielten Ergebnisse lassen auch erkennen, dass Gneise, in denen Albit oder Oligoklas als einziger Plagioklas auftritt, nicht immer einen niedrigen normativen An-Gehalt aufweisen. Der albitreiche Plagioklas ist oft mit einer anorthitreichen Horn-

blende oder mit Epidot-Klinozoisit assoziiert, so dass das Gestein als Ganzes nicht albitreich ist. Bei weiteren Schlüssen ist deshalb Vorsicht am Platze: Albitbildung und Albitisierung beweisen noch nicht, dass eine Natronzufuhr stattgefunden hat. Eine solche ist erst noch chemisch-analytisch nachzuweisen.

Von besonderem Interesse sind die Verhältnisse bei den Migmatiten, die hier erst kurz gestreift werden können. In den grobgegangten Gesteinsserien des durch einige chemische Analysen belegten nördlichen Teiles der Cocco-Masse kann vielfach ein gneisartiges Paläosom als stereogener Anteil und ein magmatitähnliches Neosom als chymogener Anteil unterschieden werden. Bis heute sind nur Varietäten des magmatitähnlichen Anteils chemisch analysiert worden. Seine basischen Glieder weisen Chemismen auf, die für Magmatite ungewöhnlich sind und eher Sedimenten entsprechen (P. 577, P. 568 in Lit. 14). Die von PREISWERK (14) mit Eruptivgesteinsnamen belegten Cocco-Gesteine zeigen in bezug auf die Beziehung zwischen normativem und modalem An-Gehalt die gleichen Züge wie die typischen Tessiner Gneise. Dies ist nicht verwunderlich, da diese Gesteine mitten im alpinen Orogen auftreten, und da sie nicht postalpinen Alters sind. Fig. 2f betrifft ein geeigneteres Beispiel, nämlich eine von DRESCHER (7) eingehend untersuchte, schollenreiche Partie des spät- bis postorogenen Bergeller Granites. Leider ist Fig. 2f, gleich wie das die Tessiner Wurzelzone betreffende und nach Angaben von WANG (17) zusammengestellte Diagramm 2e, nicht vollständig genug, um ein klares Bild zu ergeben. Immerhin sind in beiden Figuren die Verhältnisse anders als in normalen Eruptivgesteinsserien. Im Bergeller Diagramm ist eine horizontale An-Stufe angedeutet; denn es ist auffallend, dass der Forno-Granit, die Gneisscholle, das dioritische Querband, der „Diorit“ und Hornblendeschiefer alle ähnliche Plagioklase führen mit einem durchschnittlichen An-Gehalt von 30—40 %. Hier würde die weitere Forschung ein dankbares Studienobjekt finden.

Das hier vorgelegte Material ist zu wenig umfangreich, um generelle Schlussfolgerungen zuzulassen. Die Beschaffung von weiteren Beispielen aus der Literatur ist jedoch schwierig: es fehlt nicht an Gesteinsanalysen, aber an genauen Plagioklasbestimmungen am chemisch analysierten Material.

Für die weitere Bearbeitung scheinen u. a. folgende Punkte wichtig zu sein:

1. Die Frage, ob die wichtigen An-Stufen der Plagioklase in verschiedenen Kristallinserien stets die gleichen sind, oder ob sie

voneinander differieren (abgesehen vom gelegentlichen Ausfall der höheren An-Stufen). In bezug auf die hier miteinander verglichenen Bereiche orientieren die folgenden Daten:

Ornö Huvud	Silvretta	Cocco-Verzasca-Ruscada	Leventina	Bosco
—	0—5%	—	—	„Albit bis
—	8—13% An	10—15% An	10—15% An	Oligoklasalbit“
21—28% An	18—30% An	20—27% An	23—25% An	23—28% An
36—40% An	—	33—36% An	42—45% An	—

Besonders die Stufe um 25 % An, aber auch die Lücke zwischen 15 und 18 % An liefern Argumente für die 1. Alternative; doch kann noch kein Urteil gefällt werden. Die obige Zusammenstellung zeigt auch, dass in diesen kristallinen Schiefen Plagioklase mit über 40 % An sehr selten und offenbar instabil sind. In der Wurzelzone der penninischen Decken und in kontaktmetamorphen Gesteinen treten basischere Plagioklase auf; aber sie sind nicht an bestimmte Tiefenstufen (Katazone) oder Temperaturstufen gebunden; denn nach PREISWERK (22) und cand. geol. P. HASLER ist Labrador/Bytownit recht häufig in den penninischen Bündnerschiefern, die zwischen dem Cocco-Ruscada-Gebiet und dem Gotthard-Massiv liegen.

2. Es ist zu prüfen, bei welchen Typen einer Kristallinserie der modale An-Gehalt mit dem normativen übereinstimmt. Unter den granitoiden Gesteinen der Verzasca und des Cocco-Gebietes sind es die repräsentativen Haupttypen.

3. Auch die Art der Zonarstruktur in Plagioklasen, die in bezug auf den normativen An-Gehalt zu basisch oder zu sauer sind, ist näher zu untersuchen. Sowohl normaler als auch inverser Zonarbau tritt auf. Es ist aufgefallen, dass besonders bei grossen Differenzen im An-Verhältnis von Gestein und Plagioklas dieser stark zonar ist, und zwar anscheinend meist unter Angleichung an den Gesteinschemismus in den äusseren Schalen.

Der Verfasser ist Prof. M. REINHARD und P.-D. Dr. P. BEARTH zu Dank verpflichtet für kritische Durchsicht des Manuskriptes.

#### Zitierte Literatur

1. BARBER, C. T., Mem. Geol. Surv. India, 68, 2. 1936.
2. BEARTH, P., Schweiz. Min. Petr. Mitt. 18 (1938), 512—590.
3. BECKE, F., Denkschr. Akad. Wiss. Wien, 75, 1 (1913).
4. BOWEN, N. L., Z. Anorg. Chem. 82 (1913), 183—307.

5. CASASOPRA, S., Schweiz. Min. Petr. Mitt. 19 (1939), 449—709.
6. CODARCEA, A., An. Inst. Geol. Rom. 15 (1932), 261—435.
7. DRESCHER, F. K., Chem. Erde, 12 (1940), 304—417.
8. ESENWEIN, P., Vulk. Seism. Mededeel. Bandoeng, 11, 1930.
9. — Wetensch. Mededeel. Dienst Mijnb. Ned. Indie, 22, 1932.
10. GHIKA, ST., Schweiz. Min. Petr. Mitt. 11 (1931), 12—26.
11. GRÜTTER, O., Verh. Nat.forsch. Ges. Basel, 40 (1929), 78—157.
12. GUTZWILLER, E., Eclog. Geol. Helv. 12 (1912), 5—64.
13. KÖHLER, A., Tschermaks Min. Petr. Mitt. 36 (1923), 65—79.
14. PREISWERK, H., Schweiz. Min. Petr. Mitt. 11 (1931), 27—55.
15. REINHARD, M., Universaldrehtischmethoden, Basel 1931.
16. RITTMANN, A., Schweiz. Min. Petr. Mitt. 9 (1929), 1—46.
17. WANG, H. S., Schweiz. Min. Petr. Mitt. 19 (1939), 21—199.
18. WENK, E., Schweiz. Min. Petr. Mitt. 14 (1934), 196—277.
19. — Bull. Geol. Inst. Upsala, 26 (1936), 53—89.
20. — Schweiz. Min. Petr. Mitt. 25 (1945), 141—164.
21. KVALE, A., Bergens Museums Årbok 1946, 1 (1946), 1—201.
22. PREISWERK, H., Beitr. Geol. Karte Schweiz, 26 (1918), 43—80.

Eingegangen: 3. Dezember 1947.