

Gesteinschemismus und Mineralchemismus. I, Das Problem der Koexistenz der Feldspäte in den Eruptivgesteinen

Autor(en): **Niggli, Paul**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **21 (1941)**

Heft 2

PDF erstellt am: **06.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-18945>

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.

Gesteinschemismus und Mineralchemismus

I. Das Problem der Koexistenz der Feldspäte in den Eruptivgesteinen

Von *Paul Niggli*, Zürich

Es ist eine eigentümliche Erscheinung, dass die Verknüpfung physikalisch-chemischer und petrographischer Methoden selten mit jener Intensität erfolgt, die das Wesen der Petrologie sein sollte. Der Physikochemiker vergisst gerne, dass ihm die Petrographie ein ungeheures Material von Endprodukten natürlicher Vorgänge liefert, welches nach den in Laboratorien üblichen Methoden zu bearbeiten ist; der Petrograph seinerseits hat nur in wenigen Fällen eingesehen, dass der Ersatz qualitativer durch quantitative Beschreibungen des Mineralbestandes für ein tieferes Eindringen in die Fragen der Petrogenese notwendig ist. Meist begnügt er sich mit der Festlegung optischer Mineraldaten, die — von wenigen Ausnahmen abgesehen — beziehungslos dastehen, weil eine exakte Korrelation mit chemischen Daten nur für wenige gesteinsbildende Mineralien durchführbar ist. Selten ist der sicherlich nicht einfache Versuch, in einer Serie zusammengehöriger Eruptivgesteine nicht nur die Gesteine, sondern alle darin vorkommenden Hauptgemengteile zu analysieren. Vielleicht ist daran die schon lange als unrichtig anerkannte Ansicht schuld, man könne die Zusammensetzung der Mineralien durch einfache Formeln veranschaulichen. In Wirklichkeit ist jedoch das Artfeld der meisten, besonders der melanokraten Gemengteile so komplex, dass die Verteilung der verschiedenen Komponenten auf die Kristallarten zu einem fundamentalen Problem der Eruptivgesteinskunde wird.

Ein zweites Hindernis, dieser Forschungsrichtung die ihr zukommende Bedeutung zu verschaffen, liegt in der Schwierigkeit, nach vollzogenen Analysen die Beziehungen zwischen Gesteins- und Mineralchemismus so darzustellen, dass Schlussfolgerungen möglich sind. Durch die Einführung der Molekularnormen, mit denen man wirklich rechnen kann und die auch Zusammenfassungen verschiedenster Art gestatten, sind diese Schwierigkeiten praktisch vollkommen über-

wunden worden. Die komplizierte chemische Zusammensetzung der Gesteine und Mineralien bietet kein Hindernis mehr, irgendwelchen Korrelationen nachzuspüren.

In einer Serie von Beiträgen soll gezeigt werden, wie vorgegangen werden kann. Bei der Mangelhaftigkeit der vorhandenen Daten ist es naturgemäss unmöglich, jetzt schon zu verbindlichen Schlussfolgerungen zu gelangen. Hauptzweck ist, anzuregen, auf diesem Gebiet weiter zu arbeiten und die vorläufig noch wenig fundierten Ansichten durch neue Untersuchungen zu korrigieren.

Währenddem man in einer allerdings viel zu schematischen Art bereits in mehreren Arbeiten versucht hat, die Koexistenzfrage in der Augitgruppe einer Klärung entgegenzuführen, ist das an sich einfachere Problem der Koexistenz von Feldspäten unter sich und mit Feldspatoiden wenig behandelt worden, obgleich es das systematisch wichtigere ist. Folgendes sind die Grundlagen:

1. Nur bei den Plagioklasen ist es einigermaßen möglich, wichtige, auf die chemische Zusammensetzung bezügliche Näherungsdaten aus optisch-mikroskopischen Untersuchungen abzuleiten (ohne Kaliumgehalt und mit nur sehr mässiger Genauigkeit bei Ergussgesteinen).

2. Soweit die bisherigen Erfahrungen reichen, ist in der Mehrzahl der Fälle die Zusammensetzung der gesteinsbildenden Nepheline in bezug auf das Verhältnis von Na:K:Ca nicht sehr variabel, so dass für eine erste Übersicht ein Mittelwert eingesetzt werden kann. Ähnliches scheint für Leucit und Analcim zu gelten, sofern von der Pseudoleucitbildung abgesehen wird.

3. Die grosse Unbekannte ist die Zusammensetzung der Alkalifeldspäte. Eines ist gewiss, dass ein nicht zu verantwortender Fehler begangen wird, wenn Orthoklas, Mikroklin oder Sanidin kurzweg als Kaliumfeldspat in Rechnung gestellt werden. Verschiedene Umstände zwingen uns jedoch, die Frage der Ein- oder Mehrphasigkeit innerhalb der Alkalifeldspäte als ein Problem zweiten Ranges zu behandeln. Es gibt unter den Verhältnissen der magmatischen Erstarrung Bedingungen, die teils zu scheinbar einheitlichen Kaliumnatriumfeldspäten, wie Natriumsanidin, Anorthoklas, Rhombenfeldspat, natriumreichem Mikroklin führen, oft mit sekundärer Perthitstruktur (die schon bei Natriumkaliumfeldspäten auftritt), teils jedoch zu primärer Ausbildung von zweierlei Alkalifeldspäten (z. B. Albit neben Mikroklin oder Orthoklas). Da hierfür weniger der Chemismus als der Komplex der physikalischen Erstarrungsbedingungen

massgebend ist, können wir der Frage nach der Koexistenz von Plagioklasen mit einem errechneten mittleren Alkalifeldspat den Vorrang geben.

4. Von den zur melanokraten Gruppe gehörigen Mineralien werden besonders die Biotite, Amphibole, Pyroxene und Melilithe den Chemismus der Einzelglieder der Feldspat-Feldspatoidgruppe mitbedingen. Die letzteren enthalten zumeist sowohl Ca wie Na und K neben Al. Die Untersuchung des Einflusses dieser Verhältnisse sei einem besonderen Beitrag vorbehalten. Für die Biotite gilt, dass sie nur in sehr seltenen Fällen Ca und Na in erheblichen und sehr variablen Mengen führen; es ist daher leichter möglich, deren Einfluss auf das Verhältnis Plagioklas zu Alkalifeldspat abzuschätzen.

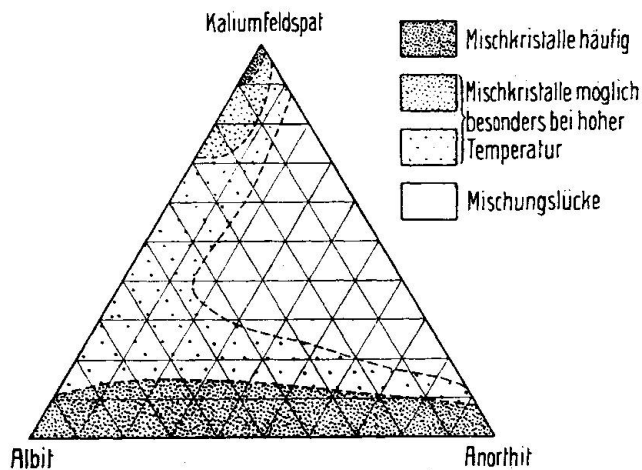


Fig. 1. Mischkristallbildung in der Feldspatgruppe. Verhältnisse, wie sie nur unter besonderen Umständen verwirklicht sind.

Wie verhält sich nun das System der K-, Na-, Ca-Feldspäte in bezug auf die Mischkristallbildung?

Fig. 1 veranschaulicht ziemlich extreme Verhältnisse. Von der Nachbarschaft der Albit-Kaliumfeldspatlinie abgesehen, treten im locker punktierten Gebiet nur selten Kristalle auf, von denen man vermuten darf, sie seien primär einheitlich gewesen. Werden die seltenen Gesteine mit Rhombenfeldspäten nicht berücksichtigt und die mindestens häufig als sekundäre Zwei- und Mehrphasensysteme entwickelten Felder der Alkalifeldspäte schraffiert, so erhält man die Figur 2, die eine viel grössere, jedoch für den Normalverlauf der Eruptivgesteinserstarrung vermutlich charakteristischere Mischungslücke zeigt.

Betrachten wir die Entmischung der Alkalifeldspäte als Fall für sich, so resultiert eine zusammenhängende Kurve, welche die schmalen

Bänder der Alkalifeldspat- und Plagioklaszusammensetzungen gegen das heterogene Gebiet Alkalifeldspat + Plagioklas abgrenzt. In einem streng ternären System von Or, Ab, An müsste bei konstanter Temperatur eine ganz bestimmte Folge von Koexistenzgeraden die im Gleichgewicht befindlichen Alkalifeldspat- und Plagioklaszusammensetzungen miteinander verbinden¹⁾. Die Richtungen dieser Geraden werden jedoch mit Temperatur und Druck, d. h. den physikalischen Bedingungen, variieren. Es lässt sich voraussagen, dass die Koexistenzgeraden gegen die Seite Or - An hin mehr oder weniger parallel zur Dreiecksseite verlaufen werden.

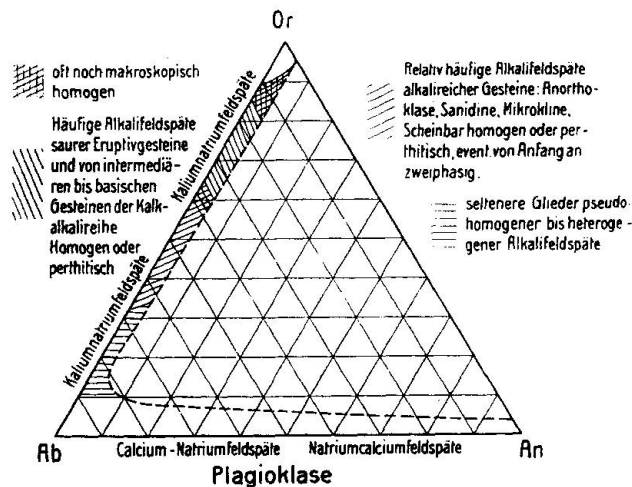


Fig. 2. Die in Eruptivgesteinen normalerweise auftretende Mischbarkeit in der Feldspatgruppe. Die gestrichelte Kurve trennt das Feld der hauptsächlichsten Alkalifeldspäte und Plagioklasen von dem Feld der Koexistenz beider Feldspatunterarten

Die Figuren 3 a—c enthalten schematisch drei Entwicklungsmöglichkeiten. In 3 a bleibt durch das ganze Gebiet der Mischungslücke diese Richtung mehr oder weniger erhalten. Die Folge wäre, dass die koexistierenden Alkalifeldspäte einen ähnlichen Gehalt an Kaliumfeldspat besitzen würden wie die Plagioklasen an Calciumfeldspat. Saure Plagioklasen wären mit Kaliumnatriumfeldspäten, basische mit natriumarmen Kaliumfeldspäten assoziiert. In Fig. 3 b erhalten gegen die Ecke Ab hin die Koexistenzgeraden flachere Neigungen. Bei noch ausgesprochenerer Tendenz im gleichen Sinne würde das Gebiet der Ecke um An zu einer Art Zielpunkt der Koexistenzgeraden. Wiederum wäre ein Zusammenvorkommen von kaliumreichen Alkalifeldspäten mit Andesin-Oligoklasen als Gleichgewichtserscheinung ausgeschlossen. Das Gegenstück zu 3 b stellt 3 c dar, mit Scharung der

¹⁾ Or an Stelle von Kaliumfeldspat.

Geraden gegen kaliumreiche Alkalifeldspäte hin. Die Koexistenzgeraden pendeln aus der Or-An-Lage in die Or-Ab-Lage hinüber. Die Alkalifeldspatentmischung würde sich in die Alkalifeldspat-Plagioklasparagenesen einfügen. Ausgeschlossen wäre jedoch in diesem Fall das Gleichgewicht von Kaliumnatriumfeldspat mit calciumreichem Plagioklas.

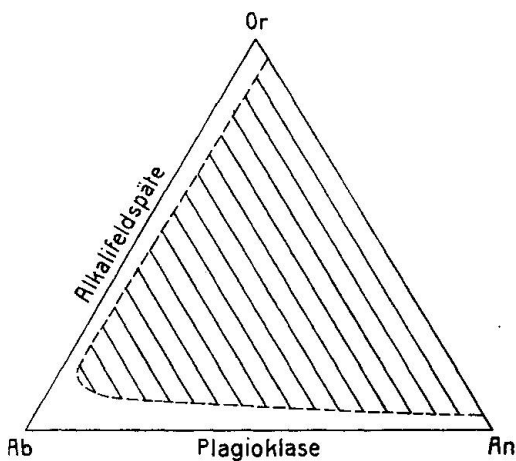


Fig. 3a. Im Zweiphasenfeld sind Koexistenzgeraden mehr oder weniger parallel der Dreieckseite Or-An eingezeichnet

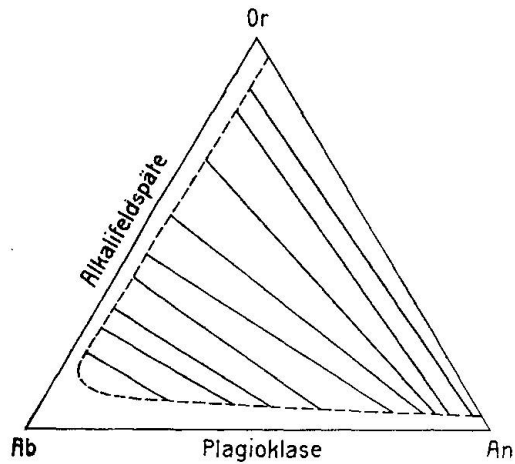


Fig. 3b. Die Koexistenzgeraden werden gegen die Ecke Ab hin flacher

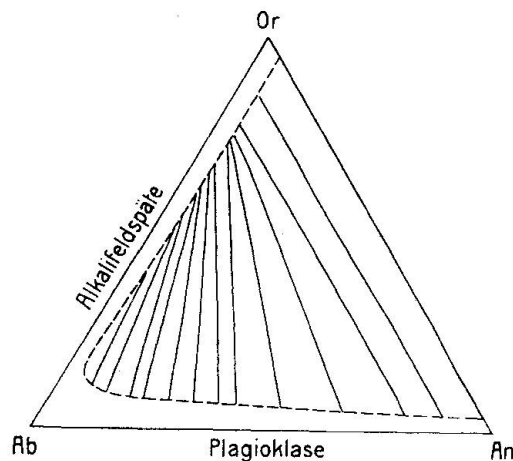


Fig. 3c. Die Koexistenzgeraden sind relativ steil

Neben den physikalischen Bedingungen werden die chemischen Verhältnisse von Einfluss auf die Art der Koexistenz sein. Bei der Auskristallisation der Feldspäte aus Magmen ist ja das System nicht ternär, und selbst wenn in andere Kristallisationsprodukte nur ganz untergeordnet K-, Na-, Ca-Alumosilikate eingehen, kann die Art der

Zusammenkristallisation der Feldspäte geändert werden. Es muss auch berücksichtigt werden, dass besonders im Gebiet der Plagioklaszusammensetzungen die Liquidus- und Soliduspunkte stark voneinander abweichen. Die Erstausscheidungen sind viel calciumreicher als die Spätausscheidungen. Zonarstruktur ist häufig, da bei einigermaßen rascher Abkühlung Gleichgewichtseinstellung nicht erfolgt.

Zur Nachprüfung der Frage, wie sich die Verhältnisse in den Eruptivgesteinen gestalten, ist es notwendig, die in erster Linie massgebenden Grössen des Gesteinschemismus mit dem Chemismus der Feldspäte und eventuell der Feldspatoide in Beziehung zu setzen. Bei der Berechnung der „Basis“²⁾ werden die Grössen Kp, Ne, Cal gebildet, die sich molekular zueinander verhalten wie in einem Feldspatgemisch Or:Ab:An. Somit kann man im Dreieck Kp, Ne, Cal wichtige Werte des Gesteinschemismus direkt mit der Zusammensetzung der Feldspäte in Beziehung setzen und im gleichen Dreieck das Verhältnis dieser in andere Mineralien eingehenden Grössen veranschaulichen. Würden weder K noch Na noch Al in Begleitmineralien auftreten, so müsste der das Verhältnis Kp:Ne:Cal des Gesteinschemismus kennzeichnende Punkt auf der Koexistenzgeraden mittlerer Alkalifeldspat-mittlerer Plagioklas des Gesteins liegen. Bereits in einer früheren Arbeit³⁾ ist für wichtige Magmentypen die Verteilung im Kp-Ne-Cal-Dreieck angegeben worden. Die Eintragung erfolgt am einfachsten nach π - und k -Werten (bezw. k' , wenn $\text{Na} + \text{K} > \text{Al}$ ist, und k' sich nur auf $\frac{\text{Kp}}{\text{Kp} + \text{Ne}}$ bezieht).

In Figur 4 sind eingezeichnet: die Grenzen der normalen Mischungslücke in der Feldspatartgruppe (ohne Alkalifeldspatmischung), das normale Feld für Leucit- und Biotitzusammensetzungen⁴⁾ (ohne Pseudoleucit), das Feld der üblichen Nephelinzusammensetzungen (ohne Übergänge zu Kaliophilit), der Streifen, in den nach Kp, Ne, Cal die Hauptanalysen der Gesteine einer pazifischen Differentiation fallen. Ausserdem kennzeichnen einfache Schraffuren Gebiete, in denen in Rücksicht auf das Verhältnis Kp:Ne:Cal reichlicher Analysen von Gesteinen atlantischer und mediterraner Provinzen zu liegen kommen. Die Figuren 2 b, 3 b, 4 b der Arbeit über

²⁾ Siehe diese Zeitschrift Bd. XVI, 1936, Seite 295 ff.

³⁾ Siehe diese Zeitschrift Bd. XVI, 1936, Seite 335 ff. und besonders diese Zeitschrift Bd. XVIII, 1938, Seite 610 (Die komplexe gravitative Kristallisationsdifferentiation).

⁴⁾ Allerdings ohne Berücksichtigung des Al-Überschusses über $(\text{K} + \text{Na})$: $\text{Al} = 1:1$. Siehe darüber in einer spätern Abhandlung.

„Die komplexe gravitative Kristallisationsdifferentiation“ geben über die Örter verschiedener Magmentypen nähere Auskunft.

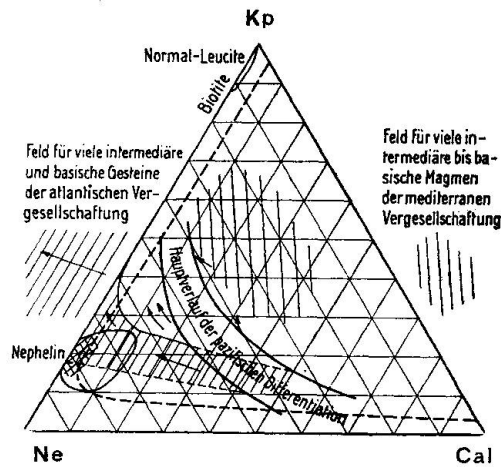


Fig. 4. Dreieck Cal:Ne:Kp entsprechend An:Ab:Or mit Eintragungen

Ein Grossteil der Eruptivgesteinsanalysen fällt nach Kp, Ne und Cal in das Mehrphasengebiet. Sofern durch Pyroxene und Amphibole nicht erhebliche Mengen dieser Basisbestandteile absorbiert werden, müssen somit viele Eruptivgesteine neben Plagioklasen Alkali-Alumosilikate führen, was ja auch durch die Erfahrung bestätigt wird.

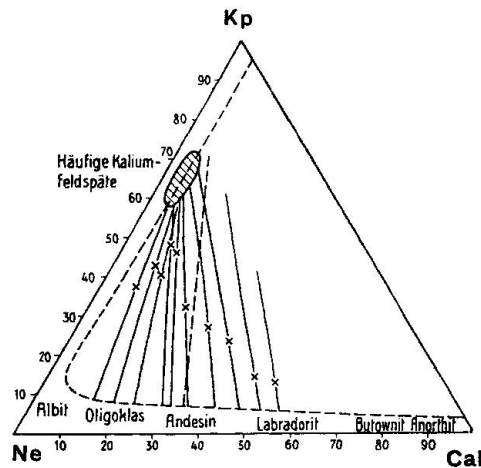


Fig. 5. Ungefährer Verlauf häufiger Koexistenzgeraden Alkalifeldspat: Plagioklas in Gesteinen der Kalk-Alkalireihe

Im allgemeinen sind die Gesteine der Kalkalkalireihe dadurch ausgezeichnet, dass Natriumkaliumfeldspäte bis Kaliumfeldspäte neben Plagioklasen verschiedener Zusammensetzung koexistieren, wobei mit abnehmendem k der Anorthitgehalt der Plagioklase zunimmt.

In Figur 5 ist das Feld der (oft perthitischen) Alkalifeldspäte vom Orthoklas- bis Mikroklintypus, das für pegmatitische, granitische, granodioritische bis monzonitische Gesteine charakteristisch zu sein scheint, besonders hervorgehoben. Nach vorliegenden Angaben sind eine Reihe von Koexistenzgeraden eingezeichnet, wobei die Kreuze sich auf das (in Rücksicht auf dunkle Gemengteile) wenig korrigierte Verhältnis von Kp:Ne:Cal der zugehörigen Gesteine beziehen. Naturgemäss treten, wie etwa die gestrichelte Gerade zeigt, mehrfach Abweichungen vom Normalverhalten auf; im grossen scheint jedoch ungefähr ein Typus 3c verwirklicht zu sein. Nachzuprüfen ist noch, ob die oft nur in Zwischenmassen entwickelten

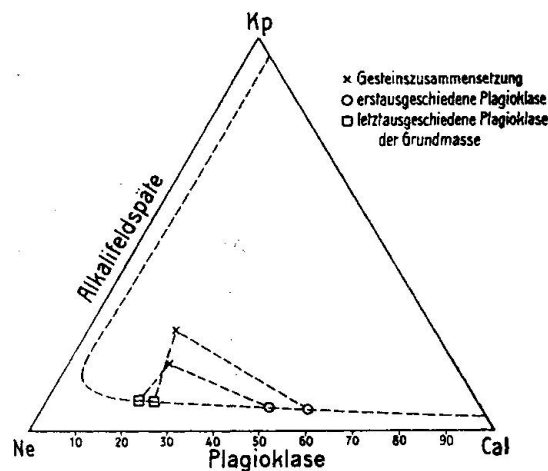


Fig. 6. Beispiel der Variation in der Plagioklaszusammensetzung für gegebene Gesteinszusammensetzungen

Kaliumfeldspäte dioritischer bis gabbroider Magmen wirklich natriumärmer sind als die Mehrzahl derjenigen der Granite bis Granodiorite.

Wie Ergussgesteine besonders deutlich zeigen, sind die erstausgeschiedenen Plagioklasse oft bedeutend anorthitreicher als der „Gleichgewichtsplagioklas“, und bei Zonarstruktur sind die letztangeschiedenen Feldspäte albitreicher. Figur 6 gilt lediglich beispielhaft für zwei Fälle: Gesteinszusammensetzung, erstausgeschiedenen Einsprenglingsplagioklas und Plagioklas der Grundmasse. Vergleicht man Figur 6 mit Figur 5 und 4, so wird ersichtlich, dass die Plagioklaskristallisation den pazifischen Differentiationsverlauf in ausgesprochenem Masse bestimmt. Letzterer enthält aber gerade Eruptivgesteine aus Geosynklinalgebieten, in denen nach gewissen Theorien granitische Magmen durch Umschmelzung von Tonen und Kalksteinen entstanden sein sollen, was

zu einer ganz anderen Feldspatvergesellschaftung führen könnte. Innerhalb der Gesteine der Kalkalkalireihe und eines wesentlichen Teils der Kalireihe scheint die Richtung der Feldspatkoexistenzgeraden wenig vom Kieselsäuregehalt der Magmen abhängig zu sein, sofern nicht Leucit oder Biotit in grösseren Mengen auftreten. Intermediäre bis basische Magmen der Natronreihe weisen hie und da andere Verhältnisse auf, indem Kaliumnatriumfeldspäte mit bereits calciumreichen Plagioklasen vergesellschaftet sind. Allerdings ist die Zusammensetzung der Sanidine, Anorthoklase und Mikrokline nur in seltenen Fällen direkt bestimmt worden. Ein Übergang von Typus 3 c zu Typus 3 b der Koexistenz scheint sich hier jedoch oft zu vollziehen.

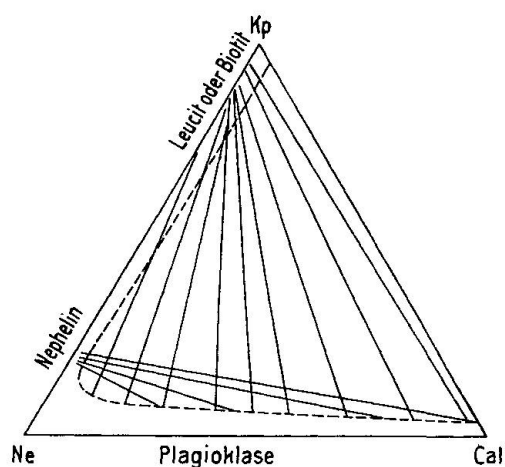


Fig. 7. Koexistenzgeraden Leucit oder Biotit-Plagioklase und Nephelin-Plagioklase

Zum Verständnis dieser Erscheinungen wollen wir, ausgehend von Figur 5, den Einfluss der Biotitbildung oder bei SiO_2 -Untersättigung der Nephelin- und Leucitbildung näher betrachten. In Figur 7 ist versuchsweise angenommen, die Zusammensetzung gesteinsbildender Nepheline sei nicht sehr variabel und ähnlich derjenigen von Nephelinen aus Foyaiten. Die Koexistenzgeraden Normalnephelin \rightarrow Plagioklas würden nach dem Nephelinfeld konvergieren und relativ flach verlaufen. In vielen Fällen besitzen andererseits sicherlich Leucite und Biotite k-Werte über 0,8, so dass die steil gerichteten Koexistenzgeraden Biotit \rightarrow Plagioklas oder Leucit \rightarrow Plagioklas nach einem in der Nähe der Or-Ecke befindlichen Gebiet konvergieren.

Treten nun die Dreiphasensysteme Alkalifeldspat-Nephelin-Plagioklas oder Alkalifeldspat-Leucit-Plagioklas oder Alkalifeldspat-Biotit-Plagioklas auf, so wird sich der den Gesteinschemismus cha-

rakterisierende Punkt im Innern eines Dreiecks befinden müssen mit den Zusammensetzungspunkten der Mineralien als Ecken. Die Lagebeziehung des Punktes des Kp-Ne-Cal-Verhältnisses des Magmas zu den Kristallartpunkten bestimmt die Verteilung von Na-K-Ca auf die drei Gemengteile. Experimentell oder empirisch (durch vollständige Analyse aller in Frage kommenden Zusammensetzungen) ist über das sicherlich auch vom Gehalt an leichtflüchtigen Bestandteilen abhängige Verhalten wenig bekannt. Immerhin scheinen folgende Erwägungen berechtigt zu sein.

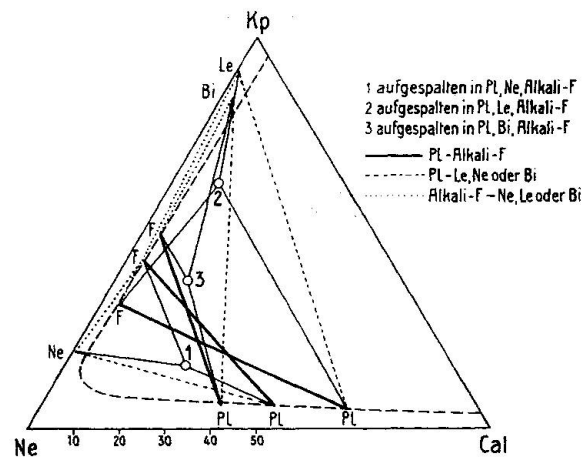


Fig. 8. Beispiele von Mischparagenesen

Es bedeutet Pl = Plagioklas. Ne = Nephelin. F = Alkalifeldspat. Bi = Biotit. Le = Leucit. Zu 1 gehört die Koexistenz Ne-Pl-F; zu 2 gehört die Koexistenz Le-Pl-F und zu 3 die Koexistenz Bi-Pl-F

a) Der mit Nephelin koexistierende Alkalifeldspat ist im allgemeinen natriumreicher als der in nephelinfreien Gesteinen mit dem Plagioklas gleicher Zusammensetzung vergesellschaftete Alkalifeldspat. Die Koexistenzgeraden Alkalifeldspat → Plagioklas besitzen somit zumeist flachere Lage (mehr den Richtungen von Fig. 3 a und 3 c entsprechend) als in nephelinfreien Systemen. In Figur 8 ist für Punkt 1 als „Magmenzusammensetzung“ (z. B. essexitisch) das Mineraldreieck als Beispiel gezeichnet. Dadurch wird ermöglicht, dass in Magmen der Natronreihe sehr basische Plagioklase mit Kalium-Natriumfeldspäten und Nephelin (oder Analcim, Sodalith, Nosean, Hauyn) vergesellschaftet sind.

b) Die Koexistenzgeraden Leucit → Plagioklas sind in einzelnen Teilen des Diagramms wenig verschieden von Koexistenzgeraden Alkalifeldspat → Plagioklas leucitfreier Paragenesen; sie schneiden sie in relativ spitzen Winkeln. Da jedoch zum mindesten bei vulkani-

schem Verhalten Leucit natronarm ist, wird der mit Leucit koexistierende Alkalifeldspat öfters relativ natriumreich sein, so dass wiederum die Gerade Alkalifeldspat \rightarrow Plagioklas flachere Lage (oft etwa 3 a entsprechend) einnimmt. In Figur 8 ist die Punkt 2 entsprechende Zusammensetzung in Leucit + Plagioklas + Kalium-Natriumfeldspat aufgespalten. Das Beispiel ist ziemlich extrem gewählt, manchmal wird der Alkalifeldspat kaliumreicher sein. Es ist jedoch bekannt, dass sehr anorthitreiche Plagioklase mit Leucit und Alkalifeldspäten assoziiert auftreten.

c) In ähnlicher, jedoch meist weniger markanter Weise kann Biotitkristallisation die (siehe für Punkt 3 Fig. 8) Feldspatparagenese beeinflussen.

An sich ist dieses Verhalten als Normalfall nicht unwahrscheinlich. Es bleiben gewissermassen die erstausgeschiedenen Plagioklase erhalten, da im späteren Verlauf der Kristallisation Nephelin oder Leucit einen Teil der Alkalien dem Feldspattypus entziehen. So entsprechen die Verbindungslinien Magmenzusammensetzung-Plagioklas mehr den Richtungen $\times - \bigcirc$ als $\times - \square$ der Figur 6. Und es ist nicht unwahrscheinlich, dass bereits in intermediären, alkalireichen Magmen ohne eigentliche SiO_2 -Untersättigung bei nur anfänglicher Verschiebung der homogenen Gleichgewichte in der Richtung der Entsilifizierung Ähnliches statthat.

Für die Systematik der Eruptivgesteine und ihre genetische Bewertung ist die Art der Feldspatparagenesen von fundamentaler Bedeutung. Es ist absolut notwendig, die verschiedenen sie beeinflussenden physikalischen und chemischen Faktoren kennen zu lernen. An und für sich steht ein reichhaltiges Material von Gesteinen, d. h. von natürlichen Mineralparagenesen, zur Verfügung. Durch die Ausführung von Mineralanalysen neben Gesteinsanalysen muss es der Bearbeitung zugänglich gemacht werden. Erst dann ist es möglich, den Vorgang der komplexen Kristallisationsdifferentiation bis in alle Einzelheiten zu verfolgen. Wohl lassen, wie der Vergleich der hier gemachten Ausführungen mit Figur 4 zeigt, bereits die ersten Überlegungen erkennen, dass sich die Gesteinsvergesellschaftungen als Resultat einer Differentiation, verbunden mit Kristallisation, verstehen lassen; bevor jedoch auf Einzelheiten eingegangen wird, müssen auch die übrigen Hauptgemengteile, für die glücklicherweise mehr Zahlenmaterial vorliegt, mit dem Gesteinschemismus in Beziehung gebracht werden.

Eingegangen: 27. November 1941.