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

Band: 26 (1946)

Heft: 1

Artikel: Gesteinschemismus und Mineralchemismus. II, Die Pyroxene der magmatischen Erstarrung. Zweiter Teil, Allgemeines über Reaktionsgleichungen und Dreiecksdarstellungen mit Hilfe der Basis

Autor: Niggli, P.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-21664

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Gesteinschemismus und Mineralchemismus

II. Die Pyroxene der magmatischen Erstarrung

Zweiter Teil: Allgemeines über Reaktionsgleichungen und Dreiecksdarstellungen mit Hilfe der Basis

Von *P. Niggli,* Zürich

Die Aufgaben, Beziehungen zwischen dem Chemismus verschiedener Mineralien und von Mineralien zu Gesteinen oder Lösungen herzustellen, damit Reaktionen verstanden und Korrelationen erkannt werden können, lassen sich oft vollständig oder doch qualitativ graphisch lösen. Das Dreieck QLM, das die Generalübersicht vermittelt, ist oft zur ersten Orientierung besonders geeignet. Damit keine falschen Schlüsse gezogen werden, ist es jedoch notwendig, die normierte Berechnung und den komplexen Aufbau der Sammelkomponenten stets im Auge zu behalten. Es sollen daher vorgängig der eigentlichen Behandlung der Kristallisation von Pyroxenen aus Magmen einige allgemeine Erwägungen mitgeteilt werden. Zunächst ist zu beachten:

1. In QLM-Dreiecken und den beiden Hilfsdreiecken kommen die Gehalte an H_2O, OH, O, F usw. nicht zur Geltung. Graphisch ableitbare Beziehungen nehmen darauf keine Rücksicht, resultierende Gleichungen sind in dieser Hinsicht ergänzungsbedürftig. Insbesondere gilt dies für den Oxydationsgrad des Fe sowie den OH- und O- oder H_2O-Gehalt der Mineralien.
2. Die Sammelkomponenten L und M sind sehr komplex, können jedoch in gewissen Mineralien nur innerhalb bestimmter Grenzen eine innere Variationsfähigkeit aufweisen. Graphisch ableitbare Beziehungen im QLM-Dreieck sind nur dann reell, wenn M und L (Nachprüfen durch Hilfsdreiecke!) in den verschiedenen Phasen so gebaut sind, dass die Gleichung auch für sie gilt.
3. Solange L nur Cal + Ne + Kp, M nur Cs + Fo + Fa enthalten, lässt sich der Überblick mit geringer Mühe gewinnen. Treten jedoch in einzelnen oder allen Phasen Fs, Ns, Ks oder Sp, Hz oder Ru auf, so erschwert dies die Diskussion. Ausserdem muss man sich in jedem Einzelfall besonders überlegen, mit welcher Sammelkomponente diese Bestandteile vorteilhaft vereinigt werden.

Pyroxene und Hornblenden eignen sich sehr gut zur Demonstration dieser Sätze. In der vorangegangenen Arbeit[1]) zeigen die Fig. 6 (S. 596) und Fig. 7 (S. 597), dass die Projektionspunkte vieler Pyroxene unterhalb der Linie $Q = 25$ fallen. Für manche Reaktionsbeziehungen, insbesondere auch für die Ableitungen von Differentiationstendenzen der Magmen, aus denen sich Pyroxene verschiedener Zusammensetzungen ausscheiden, ist dies von fundamentaler Bedeutung. Was ist die Ursache dieses Q-Mankos in den Pyroxenbasiswerten? Wir wollen bei der Beurteilung dieser Frage davon absehen, dass manche Analysen von Augiten mit der Generalformel nicht genau übereinstimmen, was Abweichungen von der Pyroxengleichung $Q = \frac{1}{3}(M + L)$ zur Folge haben kann. Ob diese Fehler reell sind, d. h. auf gestörtem Bau beruhen, oder ob sie auf Analysenfehler bzw. Inhomogenität des Ausgangsmateriales rückführbar sind, ist ja in den meisten Fällen unbekannt. Es wird somit von folgender Generalformel für Pyroxene ausgegangen:

$$[B^{IV}_{16} O_{48} \mid (B^{VI} + A)_{16}],$$

d. h. auf 48 O ist $\Sigma\ B^{IV}, B^{VI}, A = 32$, mit den normalerweise geltenden Einschränkungen: B^{IV} bestehe nur aus Si und Al. Ferner muss stets die Summe der Wertigkeiten von B^{IV}, B^{VI}, $A = 96$ sein. Als einfache Grundverbindungen gelten im allgemeinen diejenigen der Tabelle I.

Tabelle I

	Basis = 100						
	Q	Ru	L'	Ns+Ks	Fs	M'	
$[Si_{16}O_{48} \mid (Mg, Fe)_{16}]$	25	—	—	—	—	75	Mg-Fe-Pyroxene *En-Hy*
$[Si_{16}O_{48} \mid (Mg, Fe)_8] Ca_8$	25	—	—	—	—	75	Diopsid-Hedenbergit *Di-Hed*
$[Si_{16}O_{48} \mid Al_8] Na_8$	25	—	75	—	—	—	Jadeit *Jad*
$[Si_{16}O_{48} \mid Fe_8'''] Na_8$	25	—	—	37,5	37,5	—	Aegirin *Ac*
$[Si_8Al_8O_{48} \mid Al_8] Ca_8$	25	—	75	—	—	—	Tschermaksche Endverbindung *Ts*
$[Si_8Al_8O_{48} \mid Ti_4Mg_4] Ca_8$	12,5	12,5	37,5	—	—	37,5	Ti-Augit, Endverbindung *Ti-Aug*

Hiebei enthält Q nur SiO_2, L' nur Cal, Ne, Kp und M' nur Cs, Fo, Fa. Man ersieht daraus, dass in diesen Idealverbindungen $Q + Ru$ stets 25 ist. Daran würde sich auch nichts ändern, wenn Na durch K ersetzt wird oder an Stelle von Mg oder Fe'' andere zwei-

[1]) P. Niggli. Gesteinschemismus und Mineralchemismus. II. Die Pyroxene der magmatischen Erstarrung. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 23 (1943) 538—607.

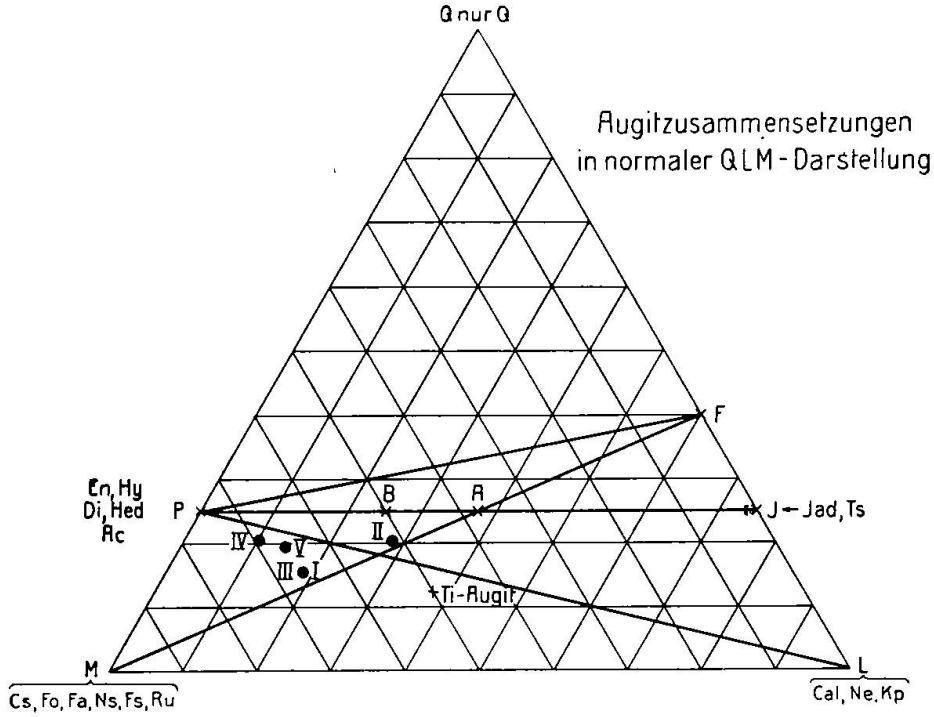
Q nur Q
Augitzusammensetzungen
in normaler QLM-Darstellung
F
En, Hy
Di, Hed
Ac
P
B
A
J ← Jad, Ts
IV
V
III
I
II
Ti-Augit
M
L
Cs, Fo, Fa, Ns, Fs, Ru
Cal, Ne, Kp

Fig. 1

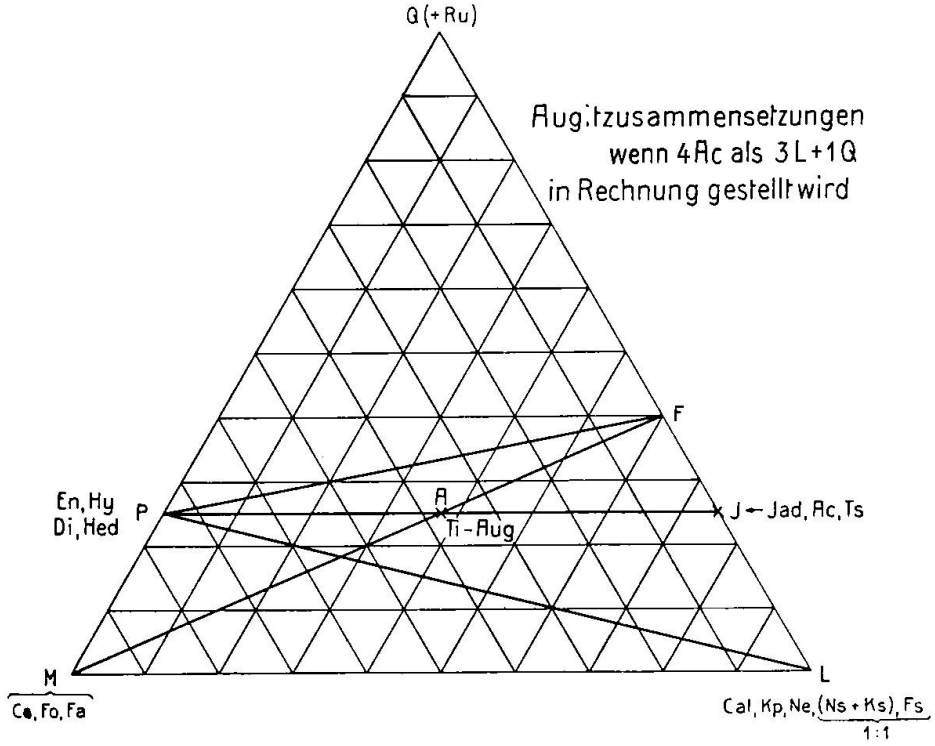
Q (+ Ru)
Augitzusammensetzungen
wenn 4Ac als 3L+1Q
in Rechnung gestellt wird
F
En, Hy
Di, Hed
P
A
Ti-Aug
J ← Jad, Ac, Ts
M
L
Cs, Fo, Fa
Cal, Kp, Ne, (Ns + Ks), Fs
1:1

Fig. 2

wertige Elemente wie Mn, Ni, Co treten würden. Pyroxene, die als Mischungen der genannten Verbindungen beschreibbar sind, sollten daher nur dann ein $Q < 25$ besitzen, wenn sie Ti enthalten und Ru nicht zu Q, sondern zu M geschlagen wird. Je nachdem, ob $Fs + (Ns + Ks)$ zu M oder L gerechnet werden, sind Aegirinaugite mehr gegen den P- oder J-Punkt der QLM-Dreiecke Fig. 1 und 2 gelegen, bzw. gegen den A-Punkt, wenn Ns zu L und Fs zu M gezählt wird. Man ersieht daraus, dass Substitutionen, wie SiMg ersetzt durch AlAl, ferner MgMg oder Fe″Fe″ ersetzt durch AlNa oder Fe‴Na, den Q-Gehalt der Basis nicht ändern. Ganz anders verhält sich ein Ersatz des Al durch Fe‴, z. B. der Ersatz SiMg durch AlFe‴, sofern keine Koppelung mit Na auftritt. Dies beruht naturgemäss auf der Berechnungsweise, wonach normativ Fs und nicht etwa $CaFe_2'''O_4$ berechnet wird. Einige schematische Beispiele, die absichtlich ohne Rücksicht auf die reelle Variationsbreite gewählt wurden, veranschaulichen dies.

Tabelle II

		Basis auf 100					
		Q	Ru	L′	Ns	Fs	M′
I	$[Si_{12}Al_4O_{48} \mid Fe_4'''(Mg, Fe)_4]Ca_8$	15,62	—	18,75	—	18,75	46,87
II	$[Si_{14}Al_2O_{48} \mid Al_2Fe_2'''(Mg, Fe)_4]Ca_6Na_2$	20,31	—	28,12	—	9,37	20,31
III	$[Si_{14}Al_2O_{48} \mid Fe_6'''(Mg, Fe)_2]Ca_4Na_4$	15,62	—	18,75	9,37	28,12	28,12
IV	$[Si_{14,5}Al_{1,5}O_{48} \mid Fe_{1,25}'''Ti_{0,5}(Mg, Fe)_{6,25}]Ca_{7,25}Na_{0,75}$	20,51	1,56	10,55	—	5,86	61,51
V	$[Si_{13,5}Al_{2,5}O_{48} \mid Fe_1'''Ti_1(Fe, Mg)_{6,5}]Ca_7Na_{0,5}$	19,53	3,12	14,06	—	4,69	58,59

Zu 25 Q fehlt: I $9{,}38 = \frac{1}{2}\,Fs = \frac{3}{4}\,Fe'''$ II $4{,}69 = \frac{1}{2}\,Fs = \frac{3}{4}\,Fe'''$
III $9{,}38 = \frac{1}{2}\,(Fs - Ns)$ IV $4{,}49 = Ru + \frac{1}{2}\,Fs$
V $5{,}47 = Ru + \frac{1}{2}\,Fs$

Man ersieht daraus, dass die Differenz (25—Q) bei idealer Formelerfüllung nur von Fs (bzw. $Fs-(Ns + Ks)$) und Ru abhängig ist und dass unter dieser Voraussetzung aus der Lage des Projektionspunktes eines Pyroxenes unterhalb der Linie P—J im Dreieck QLM direkt auf den überschüssigen Fe‴- und den Ti-Gehalt geschlossen werden kann.

Eine Anwendung ist die folgende. Nach P. Eskola und R. Forster entmischen sich omphacitische Augite in gewissen eklogitischen Gesteinen zu Plagioklas und Al-Na-ärmeren Augiten. Ompha-

cite haben Projektionspunkte nahezu auf der Linie P—J. Nimmt man F weg, so muss der Restaugit ein Q unter 25 besitzen. Werden elektropositive Elemente weder zu- noch weggeführt, so verlangt dies eine Oxydation von zweiwertigem Fe zu dreiwertigem Fe. Das geht auch daraus hervor, dass sich in den Augiten die Summe der elektropositiven Atome zu O wie 10:15 verhält, in Feldspäten wie 10:16. Zwei Rechenbeispiele veranschaulichen dies.

a) $$\underbrace{[Si_{48}O_{144} \mid Al_{12}Fe''_6Mg_6]\,Ca_{12}Na_{12}}_{\text{Omphacit}} + 3\,O =$$

$$\underbrace{[Si_{16}Al_8O_{48}]\,Ca_2Na_4}_{\text{Plagioklas}} + \underbrace{[Si_{32}Al\,O_{99} \mid Al_3Fe'''_6Mg_6]\,Ca_{10}Na_8}_{\text{etwas akmitischer Augit}}.$$

b) $$\underbrace{[Si_{48}O_{144} \mid Al_8Fe_3Mg_{13}]\,Ca_{16}Na_8}_{\text{Omphacitaugit}} + 1{,}5\,O =$$

$$\underbrace{[Si_8Al_4O_{24}]\,Ca\,Na_2}_{\text{Plagioklas}} + \underbrace{[Si_{40}Al_{0,5}O_{121,5} \mid Al_{3,5}Fe'''_3Mg_{13}]\,Ca_{15}Na_6}_{\text{schwach akmitischer Augit}}$$

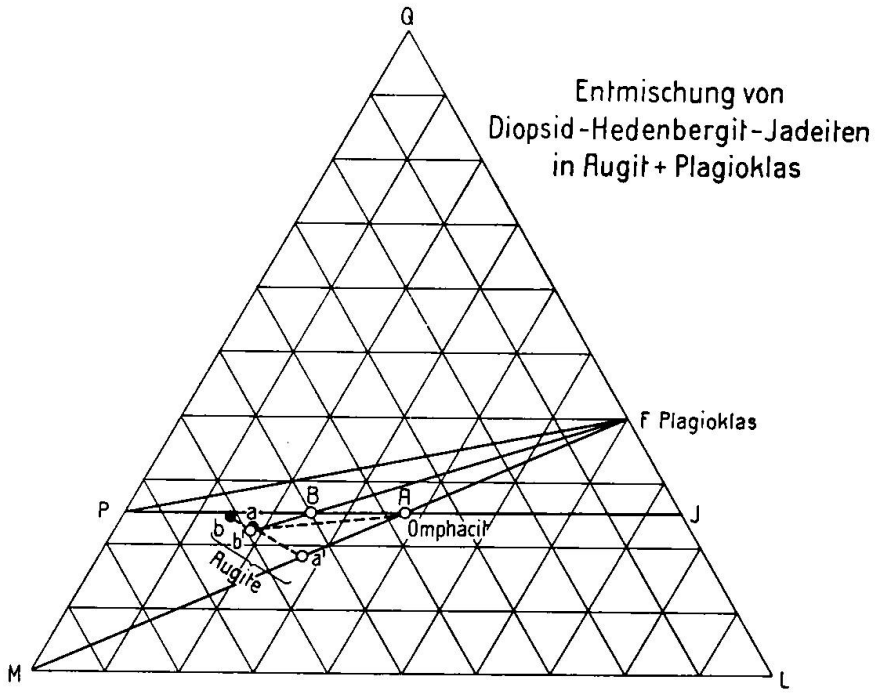

Fig. 3

Stöchiometrisch ergibt sich:

a) 96 Omph = 30 Plag + 66 Aug
b) 96 Di—Jd = 15 Plag + 81 Aug

Tabelle III

	Q	L'	Ns	Fs	M'	Fig. 3
a) Omphacit	25	37,5			37,5	Pkt. A
a) Plagioklas	40	60				Pkt. F
a) etwas akmitischer Augit	22,7	18,2	9,1	13,6	36,4	Pkt. a
b) Omphacitaugit	25	25			50	Pkt. B
b) Plagioklas	40	60				Pkt. F
b) schwach akmitischer Augit	24,1	14,8	3,7	5,6	51,8	Pkt. b

Aus der Figur 3 erkennt man, dass jetzt die drei Phasenpunkte trotz der (abgesehen von O) linearen Beziehung zueinander nicht auf einer Geraden liegen. Der Grund ist leicht einzusehen. Infolge der Plagioklasbildung hat eine andere Berechnungsart eingesetzt. An Stelle von Ne und Cs (linke Seite der Gleichungen) wurde auf der rechten Seite teils Cal und Ns berechnet und zwar nach der Beziehung

$$2\ \mathrm{Ne} + \tfrac{1}{2}\ \mathrm{Cs} = 1\ \mathrm{Ns} + 1\ \mathrm{Cal} + \tfrac{1}{2}\ \mathrm{Q}.$$

In der üblichen Zuordnung bedeutet dies:

$$2\ \mathrm{L} + \tfrac{1}{2}\ \mathrm{M} = 1\ \mathrm{M} + 1\ \mathrm{L} + \tfrac{1}{2}\ \mathrm{Q}.$$

Das heisst, es wurde, entsprechend der rechts auftretenden Menge x von Ns, ersetzt:

$$\mathrm{xL\ durch}\ \frac{x}{2}\ \mathrm{M} + \frac{x}{2}\ \mathrm{Q}.$$

Will man in diesen einfachen Fällen die Beziehungen eines ternären Systems wahren, so muss man Fs und das Cs-Äquivalent von Ns $= \frac{1}{2}$ der Grösse von Ns zu M' hinzuzählen; zu L' muss Ns gerechnet werden und von Q die Hälfte der Ns-Menge abgezählt werden. Dann erhält man die Punkte a' und b', die auf der Verlängerung von AF bzw. BF liegen. Die Streckenteilung a'F und b'F durch A bzw. B ergibt die diesbezüglichen Reaktionskoeffizienten.

	Q	L	M
Punkt a'	18,15	27,3	54,55
Punkt b'	22,25	18,5	59,25

Zufällig fällt b' fast mit a zusammen.

Wesentlich komplizierter werden die Verhältnisse für Amphibole oder Hornblenden. Die Formel ist hier an sich schon

viel variabler, auf 16 B^{IV} können 14 bis 16 (B^{VI} + A) kommen. Von den zu 16 B^{IV} gehörigen 48 O sind normalerweise 4 als (OH) an H gebunden, doch können es auch weniger sein. Die allgemeine Formel

$$\left[\begin{matrix} B^{IV}O_{44} \\ (OH)_4 \end{matrix} \middle| \begin{matrix} (B^{VI} + A)_{14} \\ \\ \end{matrix}\right]$$

ergibt eine Basis mit Q = 30.

Tabelle IV. Hornblendeformeln (z. T. nur theoretisch)

	Q	Ru	L'	Ns	Fs	M'
I $\left[\begin{matrix} Si_{16}O_{44} \\ (OH)_4 \end{matrix} \middle\vert \begin{matrix} (Mg, Fe)_{14} \\ \\ \end{matrix}\right]$	30	—	—	—	—	70
II $\left[\begin{matrix} Si_{16}O_{44} \\ (OH)_4 \end{matrix} \middle\vert \begin{matrix} (Mg, Fe)_{10} \\ \\ \end{matrix}\right] Ca_4$	30	—	—	—	—	70
III $\left[\begin{matrix} Si_{12}Al_4O_{44} \\ (OH)_4 \end{matrix} \middle\vert \begin{matrix} Al_4(Mg, Fe)_6 \\ \\ \end{matrix}\right] Ca_4$	30	—	40	—	—	30
IV $\left[\begin{matrix} Si_{16}O_{44} \\ (OH)_4 \end{matrix} \middle\vert \begin{matrix} Al_4 \\ (Mg, Fe)_6 \end{matrix}\right] Na_4$	30	—	40	—	—	30
V $\left[\begin{matrix} Si_{16}O_{44} \\ (OH)_4 \end{matrix} \middle\vert \begin{matrix} Al_{1,5}Fe^{'''}_{2,5} \\ (Mg, Fe)_6 \end{matrix}\right] Na_4$	30	—	15	12,5	12,5	30
VI $\left[\begin{matrix} Si_{16}O_{44} \\ (OH)_4 \end{matrix} \middle\vert \begin{matrix} Fe^{'''}_4 \\ Fe_6 \end{matrix}\right] Na_4$	30	—	—	20	20	30
VII $\left[\begin{matrix} Si_{16}O_{44} \\ (OH)_4 \end{matrix} \middle\vert \begin{matrix} (Mg, Fe)_{10} \\ \\ \end{matrix}\right] Ca_2 Na_4$	25	—	—	18,75	—	56,25
VIII $\left[\begin{matrix} Si_{12}Al_4O_{44} \\ (OH)_4 \end{matrix} \middle\vert \begin{matrix} Al_4(Mg, Fe)_6 \\ \\ \end{matrix}\right] \begin{matrix} Ca_2 \\ Na_4 \end{matrix}$	15,62	—	56,25	—	—	28,12
IX $\left[\begin{matrix} Si_{12}Al_4O_{44} \\ (OH)_4 \end{matrix} \middle\vert \begin{matrix} Fe^{'''}_4(Mg, Fe)_6 \\ \\ \end{matrix}\right] \begin{matrix} Ca_2 \\ Na_4 \end{matrix}$	6,25	—	37,5	—	18,75	37,5
X $\left[\begin{matrix} Si_{16}O_{44} \\ (OH)_4 \end{matrix} \middle\vert \begin{matrix} Fe^{'''}_2 \\ (Fe, Mg)_8 \end{matrix}\right] Na_6$	25	—	—	28,12	9,37	37,5

Zu 28,12 Q fehlt: VII gegenüber II: 3,12 = $^1/_6$ Ns*
VIII „ III: 12,5 = $^1/_3$ Ne*
IX „ III: 12,5 + 9,37 = $^1/_3$ Ne* + $^1/_2$ Fs*
X „ VI: 3,12 = $^1/_3$ Ns* = $^1/_3$ Fs.

Tabelle IV zeigt, dass der Ersatz SiMg durch AlAl oder MgMg durch AlNa bzw. Fe'''Na den Q-Wert unverändert lässt. Nun zeigen aber die analysierten Hornblenden sehr häufig noch weit niedrigeres Q als die Augite. Neben den hiefür verantwortlichen, bereits bei den Augiten erwähnten Umständen (Fe''' nicht an Alkalien gekoppelt

ersetzt Al, Ti-Gehalt), wirken, wie die Formeln VII bis X der Tabelle IV zeigen, in diesem Sinne besonders Substitutionen wie:

Ca_2 wird ersetzt durch Na_4, oder Fe'''_2 wird ersetzt durch Fe''_2Na_2, zugleich mit Erhöhung der Zahl $B^{VI} + A$ von 14 gegen oder auf 16. Wie stark Q hierdurch erniedrigt wird, hängt davon ab, in welche Basisverbindung das hinzugekommene Na eingeht (z. B. als Ns oder Ne). Die Q-Verminderung lässt sich im Vergleich zu analogen Formeln, mit $(B^{IV} + A)$ nur $= 14$, sofort berechnen. Da zugleich die Zahl der elektropositiven Elemente von 30 auf 32 ansteigt, muss nicht von $Q = 30$, sondern $Q = 28{,}125$ ausgegangen werden. Die Fussnote der Tabelle IV enthält diesbezügliche Bemerkungen, wobei Ns*, Ne*, Fs* die im Vergleich zu den Ausgangsformen zusätzlichen Mengen dieser Verbindungen bedeuten.

Schliesslich enthält Tabelle V einige häufig auftretende Hornblendetypen, in denen sich verschiedene Faktoren kombinieren, so dass Q bis auf 10 hinunterfallen kann. In der Fig. 4 sind die Projektionspunkte aller erwähnten Formeln im QLM-Dreieck eingetragen.

Tabelle V. Einige Hornblendetypen in Basisdarstellung

		Q	Ru	L	Ns	Fs	M
XI	$\left[\begin{matrix}Si_{12}Al_4O_{44} \\ (OH)_4\end{matrix} \middle\vert \begin{matrix}Al_1Fe_2''' \\ (Fe,Mg)_7\end{matrix}\right] Ca_3Na_3$	10,9	—	37,5	—	9,4	42,2
XII	$\left[\begin{matrix}Si_{14,5}Al_{1,5}O_{44} \\ (OH)_4\end{matrix} \middle\vert \begin{matrix}Fe_2'''Ti_{0,25} \\ (Fe,Mg)_{7,5}\end{matrix}\right] \begin{matrix}Ca_{1,75} \\ Na_4\end{matrix}$	19,4	0,8	14,3	11,9	9,5	44,1
XIII	$\left[\begin{matrix}Si_{12}Al_4O_{44} \\ (OH)_4\end{matrix} \middle\vert \begin{matrix}Fe_1''Ti_1 \\ (Fe,Mg)_8\end{matrix}\right] \begin{matrix}Ca_3 \\ Na_3\end{matrix}$	10,2	3,1	32,8	—	4,7	49,2
XIV	$\left[\begin{matrix}Si_{12}Al_4O_{44} \\ O_2(OH)_2\end{matrix} \middle\vert \begin{matrix}Al_{0,5}Fe_2'''Ti_{0,75} \\ (Mg,Fe)_7\end{matrix}\right] \begin{matrix}Ca_{3,75} \\ Na_2\end{matrix}$	13,2	2,3	30,5	—	9,4	44,5
XV	$\left[\begin{matrix}Si_{13}Al_3O_{44} \\ (OH)_4\end{matrix} \middle\vert \begin{matrix}Al_2 \\ (Fe,Mg)_8\end{matrix}\right] \begin{matrix}Ca_{3,75} \\ Na_{1,5}\end{matrix}$	20,8	—	31,2	—	—	48

XI Hastingsit XII Katophorit XIII, XIV Basaltische Hornblende
XV Grüne Hornblende.

Naturgemäss gilt für Darstellungen in quasiternären Systemen QLM in bezug auf die chemographischen Beziehungen das bei Augit Gesagte. Ein Anwendungsbeispiel möge auch hier illustrieren, wie vorteilhaft mit der Mineralbasis gearbeitet werden kann. Wir stellen zwischen Omphacit, Granat und H_2O einerseits und Plagioklas + Hornblende andererseits eine denkbare Gleichung auf:

$$\underset{\text{Omphacit}}{[Si_{32}O_{96}|Al_8(Mg,Fe)_8]Ca_8Na_8} + \underset{\text{Granat}}{[Si_{18}O_{72}|Al_{12}(Mg,Fe)_{15}]Ca_3} + 4\,H_2O$$

$$\rightleftarrows \underset{\text{Plagioklas}}{[Si_{13}Al_7O_{40}]Ca_2Na_3} + \underset{\text{Hornblende}}{\left[\begin{matrix}Si_{37}Al_7O_{121} \\ O_3(OH)_8\end{matrix}\middle|\begin{matrix}Al_6 \\ (Mg,Fe)_{23}\end{matrix}\right]\begin{matrix}Ca_9 \\ Na_5\end{matrix}}$$

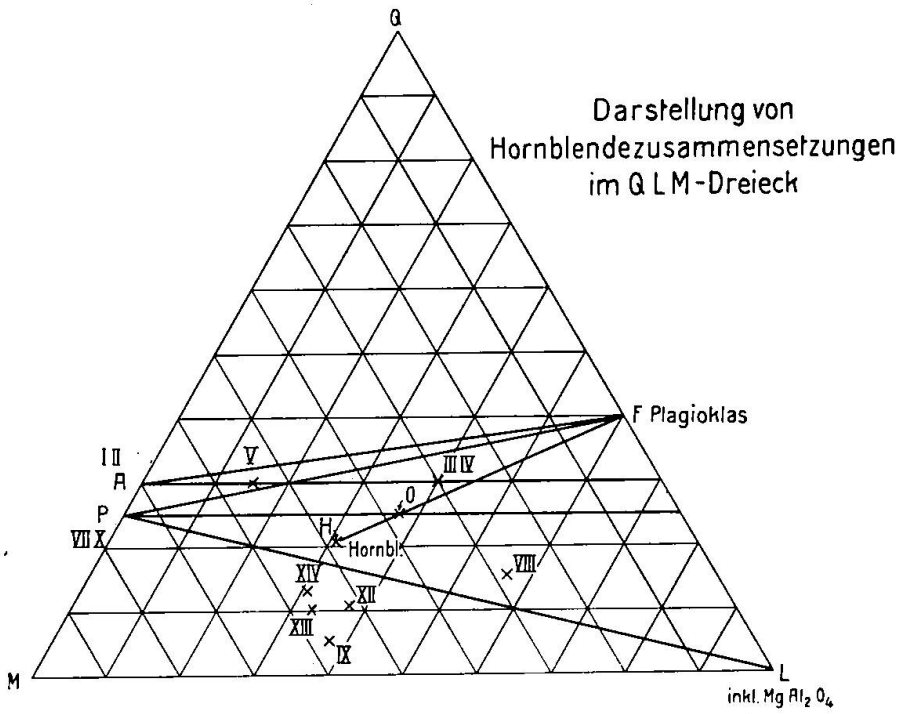

Fig. 4

Die Hornblendeformel kann zum Vergleich mit den in Tabelle IV und V aufgeführten Beispielen auch geschrieben werden zu:

$$2{,}75\left[\begin{matrix}Si_{13,46}Al_{2,54}O_{44} \\ (O,OH)_4\end{matrix}\middle|\begin{matrix}Al_{2,18} \\ (Mg,Fe)_{8,36}\end{matrix}\right]Ca_{3,28}Na_{1,82}$$

Stöchiometrisch ergibt sich: 64 Omph + 48 Gran (+ 4 H_2O) $\rightleftarrows$ 25 Plag + 87 Ho.

Die Basiswerte lauten:

	Q	L'	Sp + Hz	M
Omphacit (O)	25	37,5	—	37,5
Granat	25	18,75	18,75	37,5
Plagioklas (F)	40	60	—	—
Hornblende (H)	20,7	31	—	48,3

Wir müssen hier (Sp + HZ) zu L rechnen, da der Partner von Granat genügend Ca enthält, um in der gesamten linken Seite der

Gleichung (Mg, Fe)Al_2O_4 wieder in $CaAl_2O_4$ unzuwandeln. Dann fällt der Projektionspunkt für Granat auf O, d. h. zusammen mit dem Projektionspunkt für Omphacit und H liegt auch in quasiternären Systemen auf der Verlängerung von FO, so dass ohne weiteres ersichtlich wird, wie $H + F = O$ ergeben kann. Die Zusammensetzung der berechneten Hornblende fällt im QLM-Dreieck nahezu mit Hornblende XV zusammen (Fig. 4).

Zürich, mineralogisch-petrographisches Institut der E. T. H., März 1946.

Eingegangen: 2. Mai 1946.