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

Band: 7 (1927)

Heft: 1

Artikel: Zur Deutung der Eruptivgesteinsanalysen auf Grund der Molekularwerte

Autor: Niggli, P.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-9032

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: 16.07.2025

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

Zur Deutung der Eruptivgesteinsanalysen auf Grund der Molekularwerte.

Mit 6 Figuren.

Von *P. Niggli.*

Der akademische Lehrer muß sich mehr, als ihm wünschenswert erscheint, mit Fragen der systematischen, zweckmäßigen Darstellung bestimmter Lehrgebiete befassen. Die an sich dankbarere Einzelforschung tritt oft zurück, weil die Verarbeitung des Gesamtstoffes zu Lehrzwecken vor neue, nicht zu umgehende Problemstellungen führt. Nirgends aber erkennen wir so sehr, wie unser Wissen Stückwerk ist, als wenn wir versuchen wollen, die natürliche Mannigfaltigkeit auf Grund lehrhafter Schemen und graphischer Darstellungen zu übersehen. Wir möchten dann oft lieber abwarten, was die Spezialuntersuchungen Neues zur Abklärung beifügen können und gehen nur mit Widerstreben an die Aufgabe, die zur Zeit beste Darstellungsmethode zu suchen. Anderseits darf nicht verkannt werden, daß die Verarbeitung und Diskussion der Möglichkeiten systematischer Gestaltung und zahlenmäßiger Veranschaulichung im wesentlichen Maße auf die Einzelforschung befruchtend wirkt. Sowohl Versuche der Widerlegung als der Bestätigung der Brauchbarkeit bestimmter Prinzipien haben in namhafter Weise die Entwicklung der Naturwissenschaften gefördert.

Betrachtet man nun die Klassifikationsversuche der Eruptivgesteinswelt, so tritt die nach Sprach- und teilweise Landesgebieten verschiedene Einstellung zum Gegenstand der Erforschung recht augenfällig in Erscheinung. Glücklicherweise gibt es ja nicht eine einzige, durch die Tradition geheiligte Betrachtungsweise der natürlichen Mannigfaltigkeit. Es wäre eine reizvolle Aufgabe der Geschichte der Naturwissenschaften, solchen psychologisch bedingten Zusammenhängen nachzugehen und ein Verständnis dafür zu erwecken, daß aufoktroyierte, internationale Regelungen nur bis zu einem gewissen, recht engbegrenzten Maße lebensfähig sein können. Auch der Kritiker täte gut daran, dies zu beherzigen. Die nach dem Millimeterpapier geschaffene, quantitative C. P. J. W.-Klassi-

fikation der amerikanischen Forscher (einer Sammlung gleichgroßer Schachteln vergleichbar, von denen die eine bis über den Rand gefüllt ist, während andere fast völlig oder ganz leer bleiben) ist vielleicht ebensosehr der Ausdruck amerikanischen Geistes einer bestimmten Epoche wie das streng rechtwinklig gegliederte Städtebild, das wir drüben so häufig antreffen. Wenn auch die Einfachheit und Klarheit eines derartigen Planes Bewunderung erzwingt, so ist uns doch die heimatliche Siedelungsform lieber, mit ihrer natürlichen Gruppierung um wichtig erscheinende Punkte, mit der Bezeichnung der Straßen nicht nach Buchstaben und Zahlen, sondern nach lebendigen Beziehungen zur Umwelt.

Wollen wir über allgemein anerkannte, das heißt der Großzahl richtig erscheinende Klassifikationsversuche Auskunft erhalten, so müssen wir daher von demjenigen Teil absehen, der gewissermaßen lokalpsychologisch bedingt erscheint. Bei näherem Studium erkennen wir aber, daß oft noch eine viel größere Annäherung möglich wäre, wenn nicht gewisse rein formale Vorurteile bestehen blieben. So kann es beispielsweise sein, daß einige sehr zweckmäßige Größen zufällig bei dem einen, im übrigen abzulehnenden Klassifikationsversuch und der einen Berechnungsart von Gesteinsanalysen eingeführt worden sind, daß dann nur aus diesem Grunde diese Methodik nun teilweise beibehalten wird, weil zu wenig beachtet wird, daß eine andere, jüngere Methode analoge Daten vielleicht noch einfacher zu gewinnen gestattet.

Es ist beispielsweise die Berechnung eines normativen Mineralbestandes unzweifelhaft ein wissenschaftlich sehr wichtiger Fortschritt, woraus aber nicht zu folgern braucht, daß er für eine chemische Klassifikation der Magmen (wozu ihn beispielsweise *A. Lacroix* in seinen für die Gesteinssystematik fundamentalen Arbeiten verwendet) zweckmäßig sei. Hier scheinen dem Verfasser nach wie vor nur molekulare Verhältnisse (nicht gewichtsprozentische Zahlen) am Platze zu sein. Aber gerade die amerikanische Normberechnung gestattet gewisse sehr brauchbare Größen zu überblicken, wie die normative Feldspatzusammensetzung und die Verteilung des SiO_2 auf normative leukokrate und melanokrate Gemengteile. Es mag sein, daß dies ein Grund dafür ist, daß mancherorts die C. P. J. W.-Klassifikation neben einer mineralogischen mitverwendet wird. Im folgenden soll nun dargetan werden, daß, allerdings wie richtiger erscheint auf molekularer Basis (denn normativer Mineralbestand ist nicht wirklicher, sondern eine Art molekularer Bestand von Bruttokomponenten!), die vom Verfasser

eingeführten Molekularwerte mindestens ebenso rasch ermöglichen, diese Verhältnisse zu erkennen.

1. Die Zusammensetzung der normativen Feldspäte.

Die Berechnung der normativen Feldspatzusammensetzung ist besonders wichtig bei Gesteinen, die aus Magmen stammen, die an SiO_2 gesättigt oder übersättigt sind. Sobald Feldspatvertreter vorhanden sind, ist die normative Verteilung der Alkalialumosilikate eine zu konventionelle, als daß dennoch die normative Zusammensetzung gestatten würde, sichere Schlüsse auf den wirklichen Mineralbestand zu ziehen. Im ersteren Falle jedoch sollte man nie unterlassen, die wirkliche Feldspatzusammensetzung mit der normativen zu vergleichen. Abweichungen müssen ihre Erklärung in der Anwesenheit von Biotit, tonerdereichen Hornblenden oder Augiten u. s. w. finden. Wir wollen daher zunächst nur an SiO_2 gesättigte bezw. übersättigte Magmen betrachten und den verbreiteten Fall annehmen, daß kein Tonerdeüberschuß auftritt. Dann lassen sich aus den Zahlen al, alk und k sofort die molekularen Verhältnisse Natronfeldspat, Kalifeldspat, Kalkfeldspat der Norm angeben. Als Relation der Molekulargewichte wählen wir selbstverständlich die durch die Isomorphie gegebene

$$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6\,SiO_2 : K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6\,SiO_2 : 2\,CaO \cdot 2\,Al_2O_3 \cdot 4\,SiO_2$$

bezw.

$$[SiO_4\,SiO_2\,SiO_2]\,Na\,Al : [SiO_4\,SiO_2\,SiO_2]\,K\,Al : [SiO_4\,SiO_2\,AlO_2]\,Ca\,Al.$$

Zur Bildung von normativem Kalkfeldspat (an) steht an Tonerde zur Verfügung: (al — alk); alle Alkalien, sofern ihre molekulare Menge nicht größer ist als al, ergeben in der Norm Natron (ab)- und Kalifeldspat (or). Die Zahl der Moleküle

$$[SiO_4\,SiO_2\,SiO_2]\,(Na, K)\,Al$$

wird durch 2 alk gegeben, wenn zugleich die Gesamtzahl der entsprechenden Feldspatmoleküle 2 alk + (al — alk) = al + alk ist. Man erhält molekular sofort folgende Beziehungen:

$$\frac{ab + or}{ab + or + an} = \frac{2\,alk}{al + alk}; \quad \frac{or}{ab + or + an} = \frac{k \cdot 2\,alk}{al + alk}; \quad \frac{or}{ab + or} = k$$

$$\frac{ab}{an} = \frac{(1-k)\,2\,alk}{al - alk}; \quad \frac{ab}{ab + an} = \frac{(1-k)\,2\,alk}{al - alk + 2\,alk\,(1-k)} = \frac{(1-k)\,2\,alk}{al + alk - k \cdot 2\,alk}$$

In Wirklichkeit braucht man neben k nur die Größe $\frac{2\,alk}{al + alk}$ zu berechnen, alles andere läßt sich aus einem Diagramm sofort ablesen.

Zu diesem Zwecke wählen wir k als Abszisse und $\frac{2\,alk}{al + alk}$ als Ordinate. Sofern letztere Größe kleiner als 1 ist, ergeben sich aus $x = k$ und $y = \frac{2\,alk}{al + alk}$ sofort $\frac{or}{ab + or}$ und $\frac{ab + or}{ab + or + an}$, das heißt die Verhältnisse von Kalifeldspat zu den Alkalienfeldspäten und von den Alkalienfeldspäten zum Gesamtfeldspat. In das Diagramm lassen sich aber auch in Form von Kurvensystemen alle Beziehungen eintragen, die zum Ablesen der Größen $\frac{or}{ab + an} = \frac{K}{P} = \frac{\text{Kalifeldspat}}{\text{Plagioklas}}$ und $\frac{ab}{an}$, d. h. zur Bestimmung der Natur des (normativen) Plagioklases nötig sind. Wir brauchen nur die Gleichungen für konkrete Verhältnisse $\frac{or}{ab + an}$ und $\frac{ab}{an}$ aufzustellen und graphisch zu interpretieren. Das Verhältnis $\frac{or}{ab + an}$ kennen wir ohne weiteres, wenn $\frac{or}{ab + or + an}$ gegeben ist, dieses ist jedoch xy. Die Kurven für konstantes Verhältnis $\frac{\text{Kalifeldspat}}{\text{Plagioklas}}$ bezw. $\frac{\text{Kalifeldspat}}{\text{Gesamtfeldspat}}$ sind somit durch Gleichungen $xy = C$ bestimmt, das heißt es handelt sich um gleichseitige Hyperbeln mit x- und y-Achse als Asymptoten. Es läßt sich für verschiedene Verhältnisse eine Schar von Kurven ziehen, so daß es möglich wird, für irgend einen Punkt sofort die nötigen Daten abzulesen.

$$\text{Für } \frac{ab}{an} = \frac{(1 - k)\,2\,alk}{al - alk} = \frac{(1 - x)\,2\,alk}{al + alk - 2\,alk} = \frac{(1 - x)\,y}{1 - y}$$

erhalten wir folgendes:

$C' = (1 - x)\,\frac{y}{1 - y}$ ergibt wieder eine gleichseitige Hyperbel, die nun jedoch durch den Punkt $x = 1$, $y = 1$ geht und deren Mittelpunkt auf der x-Achse im Abstande $1 + C'$ liegt. Auch in diesem Falle lassen sich für verschiedene C' die Kurven von vornherein zeichnen, so daß nun aus dem Netz der Figur 1 sofort vier wichtige Verhältnisse für einen durch die Zahlen k und $\frac{2\,alk}{al + alk}$ gegebenen Punkt abgelesen werden können. Ist $alk > al$, so wird $\frac{2\,alk}{al + alk}$ größer als 1, normativ wird kein Kalkfeldspat berechnet. Bekanntlich wird der alk-Überschuß als Aegirin formuliert. Wäre nur Aegirin vorhanden, so wird $\frac{2\,alk}{al + alk}$ zu $\frac{2\,alk}{alk} = 2$.

Man erhält somit das Verhältnis von Natronfeldspat zu Kalifeldspat, beziehungsweise die nur für die Feldspäte maßgebende

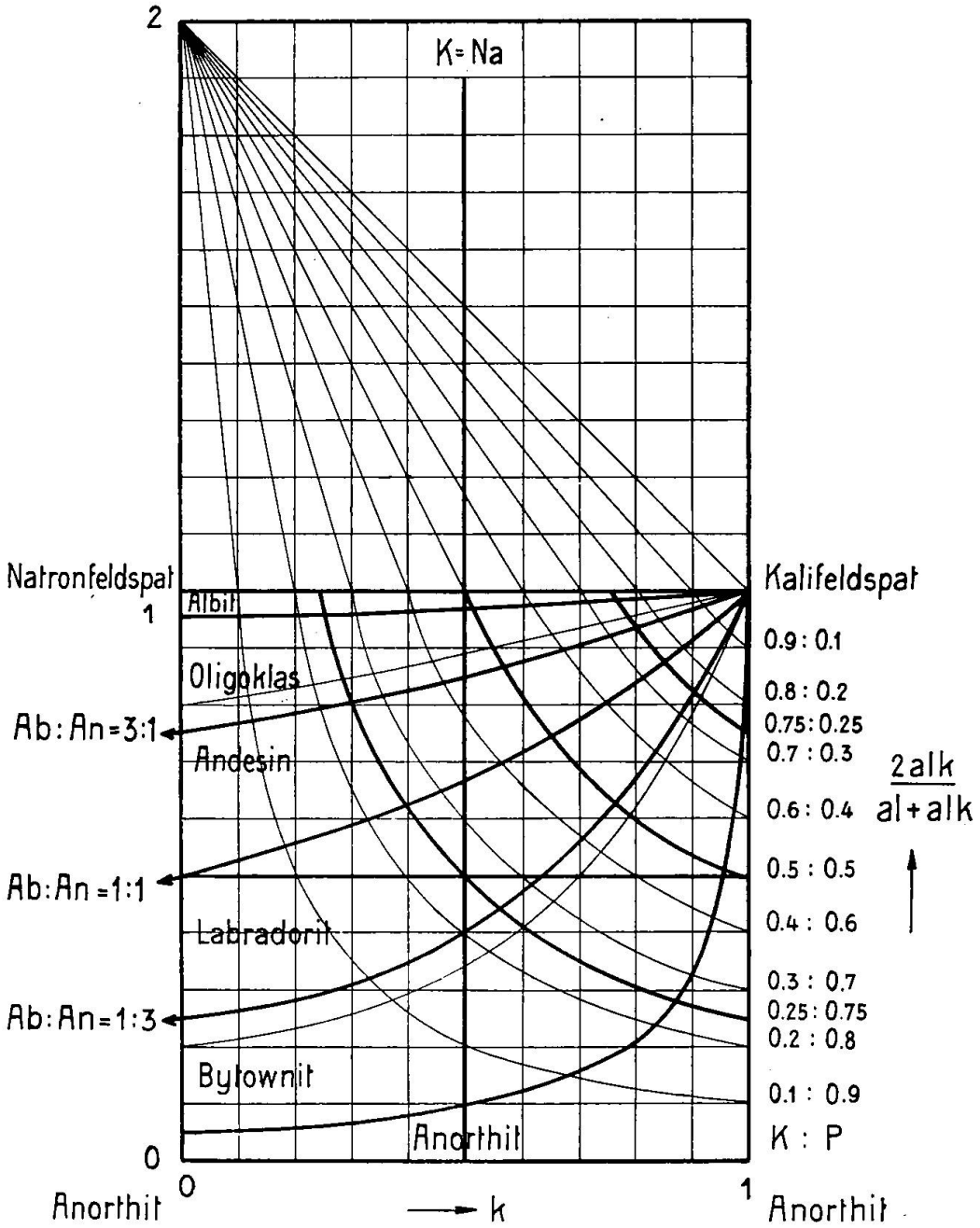

Fig. 1. $k, \frac{2\,alk}{al + alk}$ — Diagramm
mit eingezeichneten Kurven, für die normative Plagioklaszusammensetzung und das Verhältnis Kalifeldspat zu Plagioklas.

k'-Zahl, durch Verschieben des im oberen Quadrat befindlichen Punktes von $y = 2$ weg. In Figur 1 sind die entsprechenden Strahlen gezogen. Ist schließlich ein Tonerdeüberschuß vorhanden,

d. h. $c < al - alk$, so kommt überall in den Formeln statt $al - alk$ der c-Wert vor, y wäre dann $\frac{2\,alk}{2\,alk + c}$. Um darzutun, wie einfach sich nun ein Überblick über die normativen Feldspatzusammensetzungen gewinnen läßt, sind in Figur 2 die Werte für die Magmentypen, wie sie sich in des Verfassers „Gesteins- und Mineralprovinzen", Bd. I, vorfinden, eingetragen. Tabelle 1 enthält die nötigen Daten:

Tabelle 1.

Nr.	Magmentypus	$k = x$	$\frac{2\,alk}{al + alk} = y$	Nr.	Magmentypus	$k = x$	$\frac{2\,alk}{al + alk} = y$
1	aplitgranitisch	0,50	0,93	19	alkaligranitisch	0,35	1,01
2	engadinitisch	0,50	0,92	20	nordmarkitisch	0,33	0,98
3	yosemitgranitisch	0,45	0,82	21	natronsyenitisch	0,20	0,95
4	normalgranitisch	0,42	0,81	22	evisitisch	0,30	1,17
5	granodioritisch	0,43	0,71	23	adamellitisch	0,40	0,84
6	opdalitisch	0,50	0,72	24	tasnagranitisch	0,45	0,89
7	trondhjemitisch	0,23	0,91	25	rapakiwitisch	0,50	0,90
8	plagioklasgranitisch	0,22	0,76	26	granosyenitisch	0,45	0,90
9	quarzdioritisch	0,25	0,76	27	syenitgranitisch	0,47	0,98
10	tonalitisch	0,40	0,53	28	juvitisch	0,55	0,93
11	peléeitisch	0,20	0,50	29	vesuvitisch	0,55	0,90
12	normaldioritisch	0,28	0,65	30	normalsyenitisch	0,50	0,91
13	gabbrodioritisch	0,28	0,58	31	monzonitsyenitisch	0,50	0,83
14	normalgabbroid	0,20	0,44	32	normalmonzonitisch	0,50	0,77
15	pyroxenitgabbroid	0,16	0,32	33	shonkinitisch	0,60	0,87
16	ossipitisch	0,12	0,46	34	missouritisch	0,65	0,85
17	anorthositgabbroid	0,10	0,36	35	theralithgabbroid	0,25	0,71
18	labradorfelsitisch	0,13	0,43	36	ijolithisch	0,20	1,00

Im wesentlichen sind aus den schon genannten Gründen nur Magmentypen berücksichtigt worden, bei denen Feldspatvertreter keine Rolle zu spielen brauchen, lediglich 33—36 enthalten (in der Figur nicht eingetragene) Glieder mit zum Teil stark negativer Quarzzahl. Naturgemäß ist ein Magmentyp nicht durch einen Punkt, sondern ein Feld charakterisiert; um die Variation wenigstens anzudeuten, sind in Tabelle 2 noch einzelne Beispiele saurer Magmen zusammengestellt. Sehr deutlich tritt aus der Figur und den Tabellen folgendes unmittelbar in Erscheinung:

Aplitgranitische, engadinitische und fast alle syenitischen und quarzsyenitischen Magmen der Kalireihe ergeben bei ± Oligoklaszusammensetzung des normativen Plagioklases einen Gehalt an Kalifeldspat, der $1/4$ bis $1/2$ (oder mehr) des Gesamtfeldspates ausmacht.

Bei ähnlichem Gehalt an Kalifeldspat ist der normative Plagioklas mehr andesinähnlich für die yosemititischen, normalgranitischen, granodioritischen, opdalitischen und monzonitischen Magmen. In einzelnen Fällen nähert er sich noch dem Oligoklas,

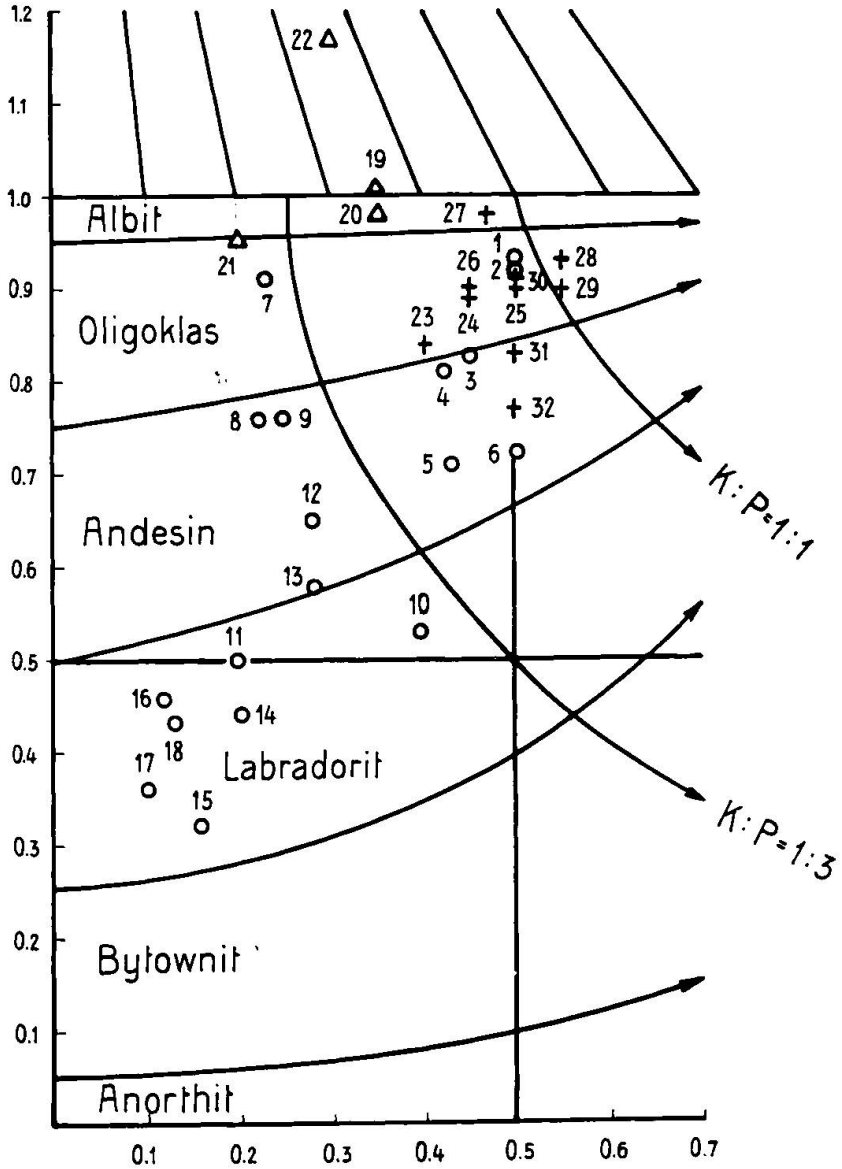

Fig. 2. Zu Tabelle 1.
Normative Feldspatzusammensetzung für verschiedene Magmentypen

$$\text{Absisse} = k \quad \text{Ordinate} = \frac{2\,\text{alk}}{\text{al} + \text{alk}}$$

in anderen bereits dem Labradorit. Wechselnder, zum Teil reichlicher Kalifeldspat bei Labradoritzusammensetzung des Plagioklas weist das tonalitische Magma auf (hier jedoch meist Biotit statt Kalifeldspat). Ist der Gehalt an Kalifeldspat zwischen $1/4$ und $1/10$ des Gesamtfeldspates, so ist er (besonders bei Anwesenheit von

Tabelle 2.

Gestein	si	al	fm	c	alk	k	mg	$\frac{2\,alk}{al+alk}$	Normativer Feldspat
Granit, aplitgranitisch, Californien	518	46	8	5	41	0,52	0,24	0,95	Mehr als $^1/_4$ bis über die Hälfte
Granit, engadinitisch, Montana	395	42	13	6	39	0,43	0,12	0,96	Kalifeldspat, Plagioklas = Oligoklas
Granit, adamellitisch, S. Carolina	296	36,5	24	13	26,5	0,40	0,28	0,84	
Granit, tasnagranitisch, Grönland	297	35,5	27	9	28,5	0,58	0,41	0,89	
Rapakiwi, rapakiwitisch, Finnland	319	39,5	20,5	6,5	33,5	0,60	0,16	0,92	
Granosyenit, granosyenitisch, Montana	260	38,5	20	11,5	30	9,42	0,38	0,88	
Granit, syenitgranitisch, Schweiz	271	28	30	15	27	0,50	0,52	0,98	Mehr als $^1/_4$ bis über die Hälfte Kalifeldspat, Plagioklas = Albit bis Oligoklas
Granit, yosemititisch, Californien	343	45,5	12	13,5	29	0,43	0,34	0,78	$^1/_4$ bis $^1/_2$ Kalifeldspat
Granit, normalgranitisch, Schwarzwald	270	38	25	12	25	0,41	0,52	0,79	Plagioklas = Andesin bis Oligoklas-Andesin
Granodiorit, granodioritisch, Californien	274	39	19	16,5	25,5	0,36	0,36	0,79	Plagioklas = Andesin,
Quarzmonzonit, opdalitisch, Schweiz	210	32	34	18,5	15,5	0,39	0,44	0,65	Kalifeldspat eher etwas spärlicher als vorher oder zwischen $^1/_4$ und $^1/_2$
Plagioklasgranit, plag. gr., Californien	327	42,5	14,5	16	27	0,19	0,42	0,78	Weniger als $^1/_4$ Kalifeldspat,
Quarzdiorit, quarzdioritisch, Yell. Park	194	30	34	18,5	17,5	0,22	0,58	0,74	Plagioklas = Andesin
Andesit, peléeitisch, Martinique	195	34,5	30,5	22,5	12,5	0,17	0,41	0,53	Um $^1/_{10}$ und weniger Kalifeldspat, Plagioklas = Andesin
Tonalit, tonalitisch, Japan	180	32	33	23,5	11,5	0,70	0,50	0,56	Um $^1/_4$ und mehr Kalifeldspat, Plagioklas = Labradorit
Natrongranit, alkaligranitisch, Norwegen	359	38,5	18,5	0	43	0,29	0,00	1,05	Kaum normativer Kalkfeldspat, Natronfeldspat, reichlicher als Kalifeldspat
Nordmarkit, nordmarkitisch, Canada	277	42	13,5	6	38,5	0,37	0,12	0,98	
Aegiringranit, evisitisch, Madagaskar	311	18	40	6,5	35,5	0,13	0,05	1,32	
Albitaplit, trondhjemit., Californien	395	45,5	5,5	9,5	39,5	0,01	0,38	0,93	Feldspat, fast ausschl. Albit bis Oligoklas
Albitpegmatit, trondhjemitisch, Schweden	461	40,5	18,5	4	37	0,11	0,39	0,95	

Biotit) im Mineralbestand schon kaum mehr bemerkbar. Hieher gehören: mit Albit bis Oligoklas das trondhjemitische Magma, mit Oligoklas bis Andesin das plagioklasgranitische, quarzdioritische, dioritische Magma, mit Labradorit das peléetische und gabbrodioritische Magma. Praktisch ohne Orthoklas kristallisieren die gabbroiden bis anorthositischen Magmen, deren Kalifeldspat normativ weniger als $^1/_{10}$ ausmacht, bei vorzugsweise labradoritartiger Zusammensetzung des Plagioklases. Die sauren bis intermediären Magmen der Natronreihe besitzen ihre Projektionspunkte vorzugsweise in der Nähe der Natron-Kalifeldspatlinie. Man erkennt aus diesen Bemerkungen, daß die normative Feldspatzusammensetzung

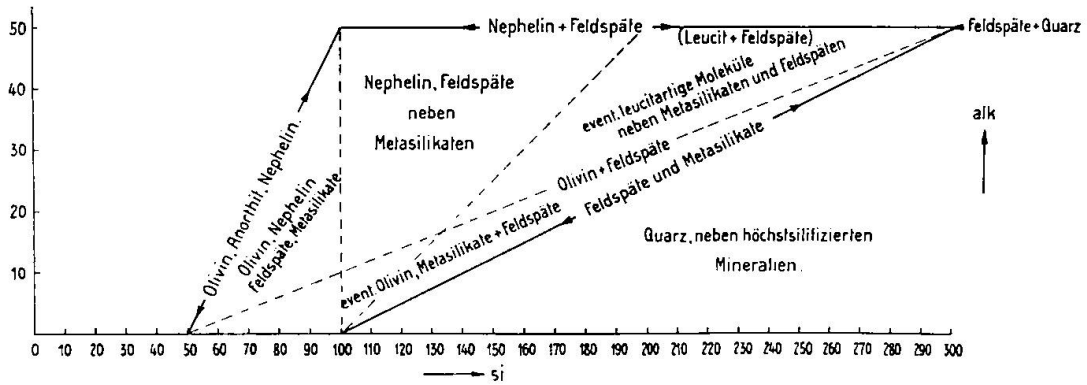

Fig. 3. Abhängigkeit von si und alk bei verschiedenen Mineralbeständen.

derartiger Magmen tatsächlich sehr nahe mit der wirklichen übereinstimmen kann. Während jedoch ein molekularer Kalifeldspatgehalt von weniger als $^1/_5$ des Gesamtfeldspates meistens im Mineralbestand okkult bleibt, sprechen wir schon von eigentlichem Kalifeldspatgestein, wenn dieser Gehalt etwa $^1/_3$ ist. Das ist ein bei der Analyseninterpretation oft vernachlässigter Punkt. Bei sehr wenigen Gesteinen berechnet sich aus der Norm ein größerer Gehalt an Kalifeldspat als an Albit + Anorthit, trotzdem auch heute noch in manchen Tabellen die Gesteine in solche mit Orthoklas und o h n e Plagioklas und solche mit Plagioklas eingeteilt werden!

Aus alledem ist ersichtlich, daß tatsächlich diese Darstellungsmethode, fast ohne jede Neuberechnung, alle wünschenswerten Daten über die normative Feldspatzusammensetzung ergibt. Man wird bei der Abgrenzung der Magmentypen mit Vorteil diese Darstellung mitbenützen.

Ist der Kieselsäuregehalt so niedrig, daß nicht alle Aluminiumsilikate normativ als Feldspat berechnet werden können oder treten im wirklichen Mineralbestand niedrigersilifizierte Al-Silikate auf,

so ergeben naturgemäß weder k noch $\frac{2\,alk}{al + alk}$ direkt Werte, die sich auf die Feldspäte allein beziehen. Die Darstellung ist auch in solchen Fällen durchaus brauchbar, bedarf nur einer anderen Interpretation. Solange in der Norm nicht al-freie Alkalisilikate auftreten[1]) (was sehr selten ist), gibt k das Verhältnis aller Silikate $[SiO_4\, n\, SiO_2]\, K\, Al$ zu der Summe aller Silikate

$$[SiO_4\, n\, SiO_2]\, Na\, Al + [SiO_4\, n\, SiO_2]\, K\, Al.$$

(n = 0, 1, 2). $\frac{2\,alk}{al + alk}$ gibt das molekulare Verhältnis dieser Alkali-Alumosilikate zu allen Alumosilikaten.

Die Hyperbelkurven verlieren gleichfalls ihre bisherige Bedeutung.

Es läßt sich übrigens mit Hilfe der Molekularwerte immer sehr einfach berechnen, wie viel Alkalialumosilikate als Leucit oder Nephelin oder Olivin in Rechnung zu stellen sind, sofern die si-Zahl niedrig ist.

Ist im Normalfall si größer als $100 + 4\,alk$ oder alk kleiner als $\frac{si - 100}{4}$, so wird freier Quarz auftreten. Rechnen wir statt Augitmoleküle (immer unter Vernachlässigung von Erz) durchwegs Olivinmoleküle, so müßte, sofern $al > alk$ ist, si nicht kleiner sein als $4\,alk + al + 50$. Nehmen wir unter der sonst gleichen Voraussetzung an, alle Alkalialumosilikate lägen in Form von Molekülen $[SiO_4 SiO_2]\, Al(K, Na)$ vor, daneben wären augitartige Verbindungen und Anorthit vorhanden, so dürfte alk nicht größer sein als $\frac{si - 100}{2}$. Werden schließlich als niedrigsilifizierte Moleküle nur nephelinartige berechnet, Alkalifeldspäte überhaupt nicht, so ist si = 100. Werden nur Kalkfeldspat, olivin- und nephelinartige Moleküle berechnet, so muß si lediglich nicht kleiner sein als $al + 50$. Immer ist vorausgesetzt, daß alle Alkalien an Tonerde im Verhältnis 1 : 1 bindbar sind, infolgedessen kann alk selbst nicht größer als 50 werden. Man ersieht somit, daß für die verschiedenen Kombinationen der maximale si-Gehalt nur eine Funktion von alk oder al oder beiden ist. al tritt in den Formeln dann auf, wenn olivinartige Moleküle gebildet werden. Für eine erste Übersicht können wir lediglich alk und si einander zuordnen, wobei wir (was ja maximal

[1]) Wenn $\frac{2\,alk}{al + alk} > 1$, so kommt dazu noch das Aegirinmolekül.

möglich ist) statt al jeweilen gleichfalls alk setzen. Wir müssen dann die Grenzkurven zeichnen

$$\text{alk} = \frac{\text{si} - 100}{4}, \quad \text{alk} = \frac{\text{si} - 50}{5}, \quad \text{alk} = \frac{\text{si} - 100}{2}, \quad \text{alk} = \text{si} - 50.$$

So entsteht die Figur 3, die sich wohl selbst erklärt. Sie zeigt, was für normative Mineralien sich berechnen lassen, wenn bei gegebenem si alk bekannt ist. Die Figur beleuchtet schlagartig die Variationsdiagramme der drei Reihen. Die alk-Kurven der typisch pazifischen Provinzen werden im allgemeinen unterhalb der Kurve Olivin-Feldspäte nach niedrigem si hin verlaufen, die entsprecheden Kurven der Natronreihe nur unterhalb der Geraden Olivin, Anorthit, Nephelin und Nephelin-Feldspäte und oberhalb der Geraden Olivin-Feldspäte, die alk-Kurven der Kalireihe nehmen Zwischenstellungen ein. Die Lage der alk-Kurve allein gestattet uns weitgehende Schlüsse über die provinziale Zugehörigkeit einer Differentiationsserie von im übrigen normalem Typus. (Erze, reichlich Anorthit oder Aegirin bedürfen besonderer Darstellung.) Solche Überlegungen ermöglichen aber auch rechnerische Aussagen. Soll beispielsweise eine negative Quarzzahl (bei al $\leqq$ alk) lediglich zur Nephelinbildung verwendet werden, so bleibt der xte Teil der alk-Zahl an Alkalifeldspäte gebunden, wobei $x = \frac{\text{si} - 100}{4\,\text{alk}}$ ist. Der $(1 - x)$te Teil von alk wäre als Nephelin zu berechnen, um die Quarzzahl Null zu erhalten.

2. Die Verteilung der Kieselsäure auf normativ leukokrate und melanokrate Gemengteile.

Die amerikanischen Klassifikatoren haben das Sal-Fem-Verhältnis weitgehend bei der Aufstellung ihres Systems benutzt. An und für sich erscheint es wenig zweckmäßig, gewichtsprozentische Verhältnisse eines nur fiktiven Mineralbestandes klassifikatorisch zu verwerten, vielmehr interessiert uns, welcher Anteil des gesamten Kieselsäuregehaltes an Molekelarten gebunden ist, die vorzugsweise in helle oder in dunkle Mineralien eingehen und wie viel SiO_2 nach einer Normberechnung frei sein kann. Also auch hier sind es molekulare Verhältnisse, die wir in erster Linie zur Charakterisierung des Chemismus kennen wollen. Sie lassen gleichwohl Schlüsse zu über das normale Aussehen der Gesteine auf Grund des Verhältnisses heller und farbiger Gemengteile.

Nehmen wir zunächst an, wir hätten es mit Gesteinen zu tun, deren Quarzzahl positiv ist. Bei der Normberechnung verteilt sich

dann si vorzugsweise auf feldspatartige Moleküle (eventuell mit Korund bezw. Sillimanit), auf femische Moleküle, inklusive Aegirinmolekül und Ca-Silikate, und auf die Quarzzahl. Was wir wissen wollen, ist die Art dieser Verteilung, den Molekularwert si etwa gleich eins gesetzt. Die Berechnung ist höchst einfach.

Die Feldspäte (+ ev. $Al_2O_3 \cdot 2\,SiO_2$ brauchen

$$si' = 6\,alk + 2\,(al - alk), \text{ wenn } alk < al$$
$$= 6\,al \qquad\qquad , \text{ wenn } alk > al.$$

Alles Eisen (ob zwei- oder dreiwertig), sowie alles Magnesium und den Kalküberschuß denken wir uns der Einfachheit halber im Verhältnis 1 : 1 an si gebunden. Ist alk > al, so braucht zur Aegirinbildung ein Teil (alk — al) neben 4 Teilen si noch 2 Teile fm. Wir erhalten somit als sogenanntes femisches si = si'' folgende Werte:

Kein Alkaliüberschuß

$$si'' = fm + c - (al - alk) = 100 - 2\,al$$

Alkaliüberschuß

$$si'' = 4\,(alk - al) + fm - 2\,(alk - al) + c = 100 - 3\,al + alk$$

Das übrigbleibende, freie si = si''' ist

im ersten Falle $si - (100 + 4\,alk)$

im zweiten Falle $si - (100 + 3\,al + alk)$

Wir bezeichnen nun $\frac{si'}{si}$, den an normative Moleküle vorzugsweise heller Gemengteile gebunden Teil des si, mit Ls, $\frac{si''}{si}$, den an normative Moleküle vorzugsweise dunkler Gemengteile gebundenen Teil des si mit Fs und den freibleibenden Teil $\frac{si'''}{si}$ mit Qs. Wir erhalten die sehr einfachen Beziehungen:

1. Kein Alkaliüberschuß

$$Ls = \frac{si'}{si} = \frac{4\,alk + 2\,al}{si}; \quad Fs = \frac{si''}{si} = \frac{100 - 2\,al}{si}; \quad Qs = \frac{si'''}{si} = \frac{si - (100 + 4\,alk)}{si}$$

2. Bei Alkaliüberschuß

$$Ls = \frac{si'}{si} = \frac{6\,al}{si}; \quad Fs = \frac{si''}{si} = \frac{100 - 3\,al + alk}{si}; \quad Qs = \frac{si'''}{si} = \frac{si - (100 + 3\,al + alk)}{si}$$

Die Summe der drei Größen ist stets gleich 1. Wir können somit die Verhältnisse leicht in einem Dreieck mit den Ecken Ls, Fs und Qs veranschaulichen. Das ergibt uns mit einem Blick eine normative molekulare Verteilung des Kieselsäuregehaltes.

Bei der Berechnung ist so vorgegangen worden, daß die jeweilen höchstsilifizierten Molekelarten gebildet wurden. Ist dafür genügend Kieselsäure vorhanden, so wird Qs positiv oder Null. Ist in Wirklichkeit weniger si da, so wird Qs negativ. Wir müßten dann eigentlich die Verteilung anders vornehmen, indem wir niedrigsilifizierte Moleküle bilden. Nun besteht aber gerade ein großer Teil der Variabilität der Eruptivgesteine darin, daß diese Entsilifizierung verschiedene Molekelarten betreffen kann, selbst bei pauschal gleichem Chemismus. Es wäre daher nicht zweckmäßig, ein für alle Mal einen bestimmten Verteilungsmodus festzulegen. Viel brauchbarer ist es, die Berechnung genau gleich durchzuführen wie oben, wobei jetzt lediglich Qs negativ wird. Diese negative Qs-Zahl gibt uns an, wie viel si zur Bildung höchstsilifizierter Silikate fehlt, wie viel si also von Ls und (oder) Fs abgezogen werden muß. Die Summe Ls + Fs + Qs = 1.

Dabei läßt sich sofort überblicken, ob die Bildung von femischen Orthosilikaten (statt Metasilikaten) genügen würde, den si-Mangel zu beheben oder ob Alkalialumosilikate niedriger silifiziert werden müssen oder ob schließlich beides notwendig ist.

Bilden wir bei al > alk femische Orthosilikate statt der Metasilikate, so brauchen wir nur (50 — al) Teile si, also ebensoviel Teile weniger als berechnet wurde. Ist daher die negative Zahl si''' kleiner als 50 — al, beziehungsweise der negative Wert von Qs kleiner als $\frac{1}{2}$ Fs, so wäre es an sich denkbar, daß lediglich statt der Metasilikate Orthosilikate auftreten. Ist — Qs größer als $\frac{1}{2}$ Fs, so sind entweder Erzmoleküle oder (was bedeutsamer ist) niedrigsilifizierte Alkalialumosilikate zu berechnen. Nehmen wir anderseits an, das fehlende si stamme nur von niedrigsilifizierten Alkali-Alumosilikaten, dann würde die Berechnung von Nephelin statt Alkalifeldspäte (bei al $\gtreqless$ alk) 4 alk-Teile si weniger brauchen. Ist somit der negative Wert von Qs $\leqq$ 4 alk, so kann er allein durch nephelinartige statt feldspatartige Moleküle bedingt sein. Wäre übrigens alk > al, so müßten wir die Zahl für Qs mit $4 \frac{al}{si}$ vergleichen. Aus diesen wenigen Bemerkungen erkennen wir sofort, auf welch einfache Weise uns auch in diesem Falle die Molekularzahlen gestatten, eine Reihe von Aussagen über die Bruttokomponenten und den möglichen Mineralbestand zu machen. Ihren besonderen Wert erhält jedoch diese Berechnungsmethode wiederum durch die graphische Veranschaulichung. Wir tragen nun einfach in Fortsezung des Dreieckes Fs, Ls, + Qs nach unten und außen

hin — Qs und zugehörige Ls- und Fs-Werte ab. Die ganze zur Einzeichnung notwendige Figur kann wieder als gleichseitiges Dreieck gewählt werden, in welchem jetzt jedoch das Dreieck für positives Qs nur ein Drittel der Seitenlängen in Anspruch nimmt und in welchem auch Werte >1 abgetragen werden können. Man wird sich sofort zurechtfinden, wenn für wichtigste einfache Mineralzusammensetzungen die Projektionswerte bestimmt und in die

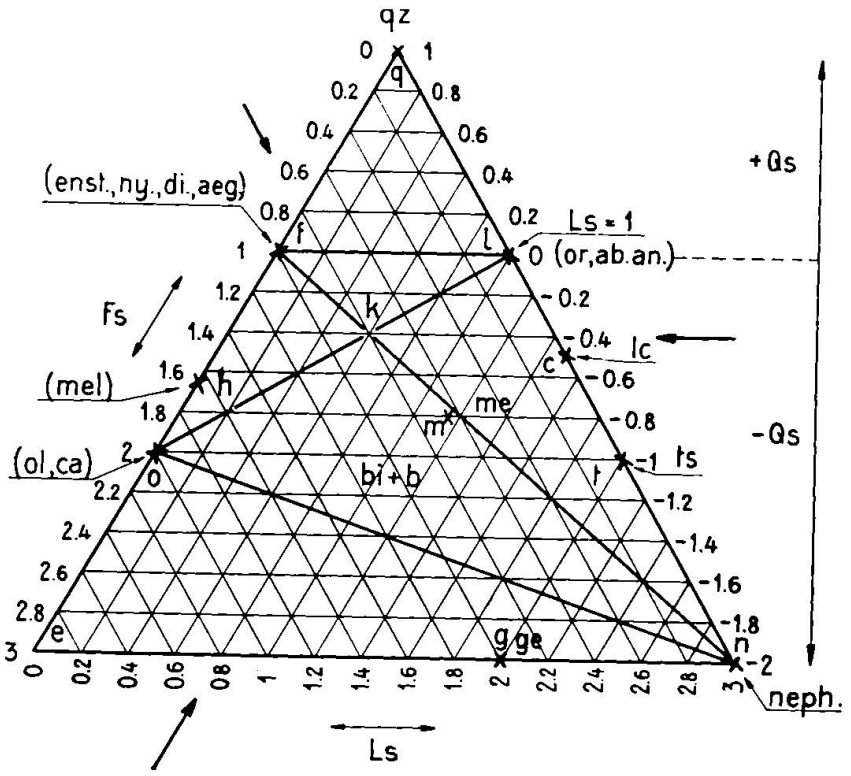

Fig. 4. Gesamtdreieck ± Qs, Ls, Fs.
Die Zahlen beziehen sich auf die durch Pfeile gekennzeichneten Richtungen, links Fs, rechts Qs, unten Ls.

Figur eingetragen werden (Fig. 4). Tabelle 3 gibt die Projektionswerte, ebendort sind auch die Punktbezeichnungen erläutert, die nun bei der Diskussion Verwendung finden sollen. Alle Gesteine mit positivem Qs fallen in das Dreieck q f l und die Lage gegenüber den Eckpunkten gibt bei höchstem Silifizierungsgrad über die mögliche si-Verteilung Auskunft. Alle Gesteine mit Qs um Null liegen in Nachbarschaft der Linie f l. Fällt die Gesteinsanalyse in das Dreieck f l o, so kann der Kieselsäureunterschuß nur durch Bildung olivinartiger Moleküle erzeugt sein, Feldspatvertreter brauchen nicht vorhanden zu sein. Niedrigsilifizierte Aluminiumsilikate (wie me, bi, lc, ts, neph) müssen auftreten innerhalb des

Dreieckes l o n. Es können lc, ts, neph allein niedrigsilifizierte Molekeln sein innerhalb des Dreieckes f l n. Bei Gesteinsanalysen,

Tabelle 3.

Komponente	Bezeichnung	Ls	Fs	Qs	Punktbezeichnung im Text
Quarz	qz	—	—	+1	q
Orthoklas	or	1	—	—	l
Albit	ab	1	—	—	l
Anorthit	an	1	—	—	l
$[SiO_4 SiO_2] (Mg, Fe)_2$	en. hy.	—	1	—	f
$[SiO_4 SiO_2] Mg Ca$	di	—	1	—	f
$[SiO_4 SiO_2] Fe Na$	aeg	—	1	—	f
$[SiO_4] (Fe, Mg)_2$	ol	—	2	-1	o
$[SiO_4] Ca_2$	ca	—	2	-1	o
Leucite (und Analcim)	lc	1,5	—	-0,5	c
Nephelin $[SiO_4] Al (K, Na)$	neph	3	—	-2	n
Tschermak'sches Molekül	ts	2	—	-1	t
Gehlenit	ge	2	1	-2	g
Melanit $[SiO_4]_3 Fe_2 Ca_3$	mel	—	1,67	-0,67	h
Gewöhnlicher Melilith	me	1,17	0,63	-0,8	m
Gewöhnlicher Biotit	bi	1,18	0,90	-1,08	b
—	—	0,6	0,8	-0,4	k

die in das Dreieck f k l fallen, lassen sich entweder nephelinartige oder olivinartige Moleküle in niedrigsilifizierter Form wählen. In das Dreieck n o e fallen im allgemeinen keine Projektionsörter magmatischer Gesteine. In allen Fällen gibt die Lage gegenüber den Mineralpunkten nähere Auskunft über die möglichen molekularen Mengenverhältnisse des si-Anteiles. Sehr deutlich ist zu sehen, wie negatives Qs verschiedenartig verteilt sein kann, dabei ist (was von vorneherein gestattet sein mag) Erz, d. h. völlig si-freies Mineral nicht berücksichtigt und von allen Akzessorien abgesehen.

Daß diese graphische Darstellung nicht nur für die SiO_2-Verteilung im möglichen normativen Mineralbestand wichtig ist, sondern auch bei dem Studium petrographischer Provinzen gute Dienste leisten kann, zeigt eine einfache Überlegung. Im allgemeinen werden Magmen der Kalkalkalireihe ihre Projektionspunkte innerhalb des Dreieckes q l o haben, da ja Feldspatvertreter fehlen. Das Dreieck l o n steht somit fast ausschließlich relativ si-armen Magmen der Natron- und Kalireihe zur Verfügung, wobei normalerweise die Magmen der Natronreihe weiter gegen die n Ecke auftreten können als die der Kalireihe. In der Tat zeigen wohl F i g. 5 und 6, in denen einige wichtigere Magmentypen eingetragen sind, zur Genüge den allgemeinen Gang verschiedener Differentiationen

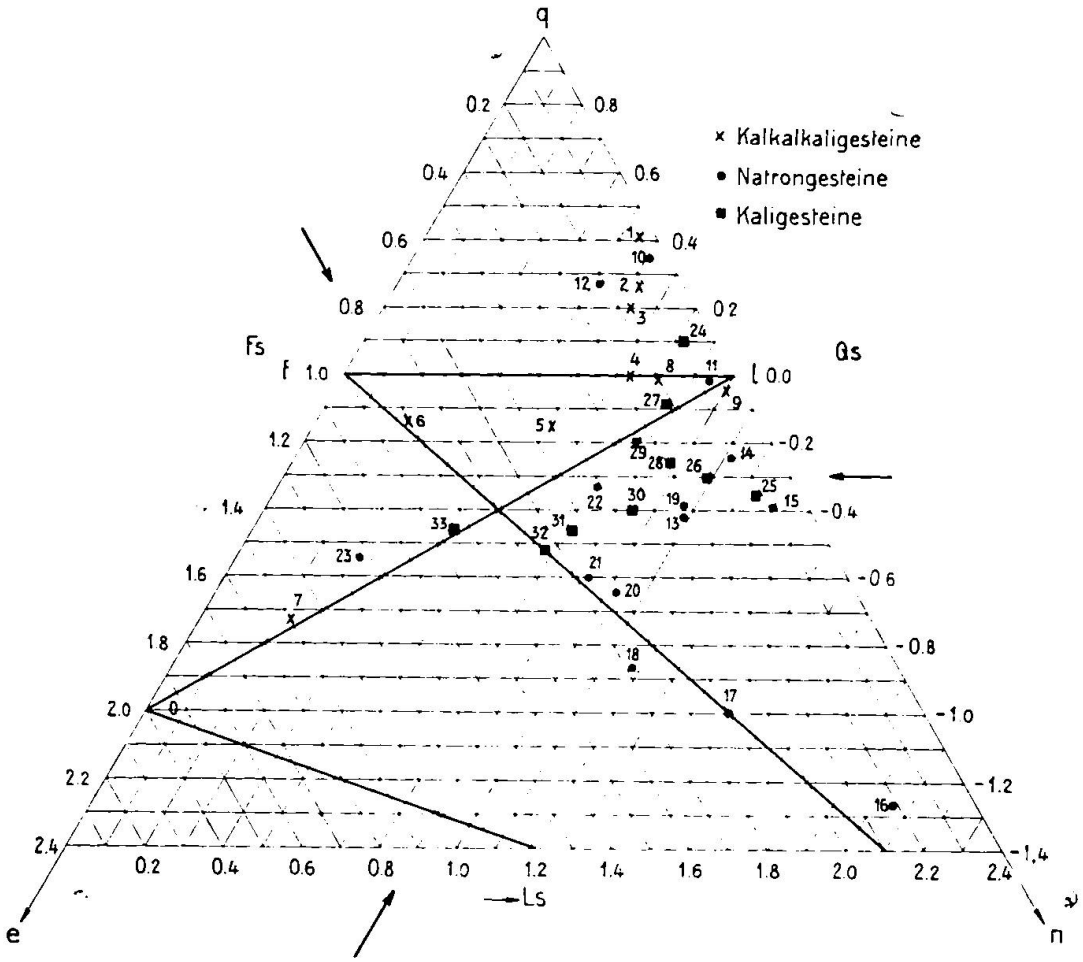

Fig. 5. Zu Tabelle 4 gehörig.

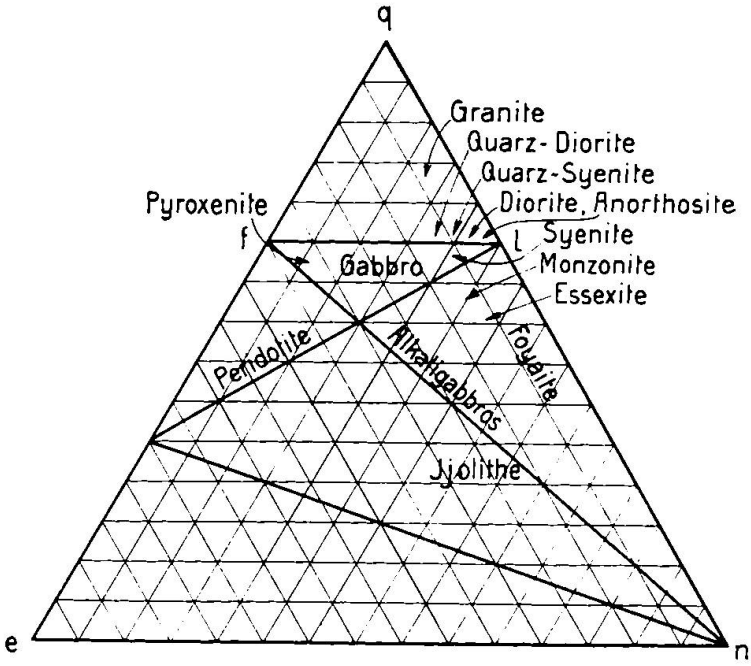

Fig. 6. Hauptfelder wichtiger Eruptivgesteine.

(vergleiche Tabelle 4). Naturgemäß ist ebensowenig wie mit dem Sal: Fem-Verhältnis eine Trennung aller Magmentypen möglich. Ls und Fs sind ja sehr komplexe Sammelkomponenten, die in sich noch sehr verschiedenartig sein können. Aber für erste Nachprüfungen theoretischer Ansichten über die magmatische Differentiation eignet sich die Darstellung außerordentlich gut. Beispielsweise läßt sich sehr einfach nachprüfen, ob die *Hommel*'schen Vorstellungen[1]) überhaupt möglich sein können, da man graphisch

Tabelle 4.

	Magmentypus	Ls	Fs	Qs	Bemerkungen
1	aplitgranitisch	0,55	0,02	+0,43	Quarz, relativ wenig si an dunkle Gemengteile gebunden
2	normalgranitisch	0,62	0,11	+0,27	
3	opdalitisch	0,63	0,17	+0,20	
4	dioritisch	0,74	0,27	−0,01	Nahezu intermediär, Zunehmen des an dunkle Gemengteile gebundenen si nach unten
5	normalgabbroid	0,61	0,54	−0,15	
6	pyroxenitisch	0,23	0,91	−0,14	
7	peridotitisch	0,23	1,50	−0,73	Viel Olivin
8	anorthositgabbroid	0,81	0,20	−0,01	Nahezu intermediär; leukokrat
9	labradorfelsitisch	1,01	0,04	−0,05	
10	alkaligranitisch	0,60	0,05	+0,35	Quarzführend; leukokrat
11	nordmarkitisch	0,95	0,07	−0,02	Intermediär, sehr leukokrat
12	evisitisch	0,52	0,21	+0,27	Ziemlich viel Aegirin neben Quarz
13	lujavritisch	1,09	0,32	−0,41	Aegirin neben Feldspäten u. Vertretern
14	larvikitisch	1,12	0,12	−0,24	Leukokrat, teils Feldspatvertreter statt Feldspat
15	normalfoyaitisch	1,30	0,09	−0,39	
16	urtitisch	2,07	0,21	−1,28	Leukokrat, Feldspatvertreter
17	ijolithisch	1,50	0,50	−1,00	Mesokrat mit Feldspatvertretern
18	melteigitisch	1,18	0,69	−0,87	
19	essexitisch	1,08	0,31	−0,39	Meso-bis-melanokrat mit Feldspatvertretern, ± Olivin
20	theralithisch	1,02	0,62	−0,64	
21	theralithgabbroid	0,93	0,67	−0,60	
22	essexitgabbroid	0,82	0,51	−0,33	
23	jacupirangitisch	0,31	1,23	−0,54	Melanokrat, teilw. niedrig silifiziert
24	granosyenitisch	0,82	0,08	−0,10	Fast intermediär leukokrat
25	juvitisch	1,24	0,11	−0,35	Leukokrat, etwas Feldspatvertreter
26	vesuvitisch	1,09	0,21	−0,30	
27	normalsyenitisch	0,87	0,21	−0,08	Fast intermediär, vorwieg. leukokrat
28	normalmonzonitisch	0,97	0,29	−0,26	Mesokrat mit etwas niedrig silifizierten Mineralien
29	yogoitisch	0,84	0,37	−0,21	
30	sommaitisch	0,94	0,46	−0,40	Meso-bis-melanokrat mit niedrig silifizierten Mineralien
31	shonkinitisch	0,82	0,63	−0,45	
32	missouritisch	0,78	0,74	−0,52	
33	pyroxenolithisch	0,52	0,93	−0,45	Melanokrat

[1]) Siehe W. Hommels systematische Petrographie auf genetischer Grundlage von P. Niggli, im vorliegenden Heft dieser Zeitschr.

leicht übersehen kann, wie sich der Chemismus bei Entzug einer oder mehrerer Molekelarten verändert.

Doch darüber wird ein anderes Mal berichtet.

Zusammenfassung:

Es werden Methoden angegeben, die gestatten, aus den Molekularzahlen direkt über die normative Feldspatzusammensetzung und die Verteilung des SiO_2-Gehaltes auf normative helle und dunkle Gemengteile Schlüsse zu ziehen. Graphische Darstellungen ermöglichen den Vergleich verschiedener Magmentypen.

Manuskript eingegangen: 10. Mai 1927.