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

Band: 14 (1934)

Heft: 2

Artikel: Die chemische Klassifikation der metamorphen Gesteine

Autor: Niggli, Paul

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-14649

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: 17.07.2025

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

Die chemische Klassifikation der metamorphen Gesteine

Von *Paul Niggli* in Zürich

Eines der wichtigsten Probleme der gesamten Petrographie ist das der Beziehungen zwischen Mineralbestand und Chemismus. Die erkennbare Heteromorphie führt dabei unmittelbar zu den Fragen der Petrogenesis. Eine Betrachtung der Mineralbestände in ihrer Abhängigkeit vom Chemismus muss Eruptivgesteine auf der einen Seite und Böden oder Verwitterungsprodukte auf der andern Seite mit in Betracht ziehen. Besondere Bedeutung hat jedoch diese Problemstellung für das Studium der metamorphen Gesteine.

Bekanntlich hat U. GRUBENMANN zwölf chemische Hauptgruppen unterschieden. Für die Neuauflage des systematischen Teiles der „Kristallinen Schiefer" sind von mir unter Assistenz von C. FRIEDLAENDER tausende von Analysen verarbeitet worden. U. GRUBENMANN hat die Frage der Abgrenzung der Gruppen nicht näher studiert, die wenigen Analysen, die als repräsentierend angeführt werden, sind mehr oder weniger willkürlich ausgewählt. Ganz unabhängig von GRUBENMANN's Klassifikation wurde versucht, eine Neuordnung des inzwischen mächtig angewachsenen gesteinsanalytischen Materials vorzunehmen.

Von vornherein muss über gewisse Prinzipien Klarheit herrschen. Im Hinblick auf die Ungleichgewichtszustände und auf das verschiedene Verhalten ein und desselben Chemismus in den verschiedenen Zonen darf es als völlig ausgeschlossen gelten, dass scharfe, im Mineralbestand sich abbildende natürliche Grenzlinien gezogen werden können. Dazu kommt, dass einerseits die Zahl der in wesentlichem Masse gesteinsbildenden Mineralarten eine äusserst beschränkte ist, andererseits innerhalb einer Mineralart der Chemismus stark variieren kann. Neben den sehr verbreiteten Hauptmineralien Quarz, Feldspäte, Pyroxene, Amphibole, Glimmer (seltener Olivine, Feldspatoide), bezw. Chlorit, Zoisit, Epidot, Serpentin, Talk, sind nur die sehr tonerdereichen (z. B. Cordierit, Sillimanit, Andalusit bezw.

Chloritoid, Staurolith, Disthen, Granat), die kalkreichen (wie Vesuvian, Wollastonit, Grossular, Diopsid, Skapolith, Lawsonit, Prehnit, Grammatit, Calcit, Dolomit) und gewisse oxydartige Verbindungen (z. B. Spinelle, Eisenoxyde, Korund, Periklas, Brucit) von grösserer lokaler Bedeutung. Die Variation der Mengenverhältnisse dieser Mineralien muss daher ebenso mitberücksichtigt werden wie das Fehlen oder Vorkommen einzelner Glieder. Nun ist aber gerade bei den metamorphen Gesteinen infolge geregelter Gefüge die Bestimmung des volumprozentischen Mineralbestandes erschwert, ganz abgesehen davon, dass innerhalb eines Gesteinshorizontes grosse Verschiedenheit auftreten kann. Ist es innerhalb der Eruptivgesteine zweckmässig, nach der Sättigung an SiO_2 einzuteilen, so fällt dies als primäres Prinzip für metamorphe Gesteine ausser Betracht, da die Mineralien der Meso- und Epizone relativ kieselsäurearm sind (Glimmer, Chlorite usw.).

Fliessende Grenzen sind daher im Grunde genommen dem Material angepasst. Es stehen im Zentrum der Chemismusfelder bestimmte, chemisch und mineralogisch gut unterscheidbare Gesteinstypen, die randlich völlig ineinander übergehen. Es ist indessen für den Vergleich, aus dem sich ja erst eine Wissenschaft der metamorphen Gesteine entwickeln kann, notwendig, konventionell Abgrenzungen zu schaffen, damit jede Gesteinsanalyse sofort den ihr verwandten gegenübergestellt werden kann. So bestand die Aufgabe in zweierlei:

1. Feststellung der zweckmässigen Wahl von Zentralpunkten chemischer Felder,
2. Bildung von Grenzlinien gemäss folgenden Prinzipien:
   a) möglichst zweckmässig auf Grund des gesamten bekannten Materials,
   b) möglichst einfachen chemischen Beziehungen entsprechend, also auch ohne graphische Darstellung rekonstruierbar. Den Grenzlinien selbst kommt an sich nur für Katalog- und Vergleichszwecke Bedeutung zu.

Die Neubearbeitung zeigte, dass hinsichtlich des Punktes 1 die GRUBENMANN'sche Klassifikation nicht sehr revisionsbedürftig ist. In der Hauptsache waren die Gruppen VI und VII von GRUBENMANN am wenigsten genau definiert und abgegrenzt. Ein Teil der dort angeführten Gesteine kann einer genauer umgrenzten Gruppe I zugeordnet werden, während nach neuen Gesichtspunkten eine neue Gruppe VI geschaffen werden musste. Besonders in Rücksicht auf genetische Fragen war es notwendig, die frühere Gruppe II von GRUBENMANN schärfer zu umschreiben. Eine neue Gruppe II vermittelt zwischen

den früheren I und II, während typische Tonerdesilikatgesteine die neue Gruppe VII bilden. Nebenbei wird dadurch ermöglicht, Ortho- und Paragesteine besser auseinanderzuhalten. Die Bezeichnung der Gruppen musste frei von Mineralnamen werden, also chemisch fassbar sein. So ergab sich folgende Haupteinteilung als Resultat mehrjähriger spezieller Untersuchungen:

A	I. Alkali-Alumosilikatgesteine II. Alkali-Alumosilikatgesteine mit zurücktretendem *alk*	*alk, al* wichtig, *c*-arm	Orthogesteine neben Paragesteinen häufig vertreten
	III. Kalk-Alkali-Alumosilikatgesteine IV. Kalk-Alumosilikatgesteine	mittleres bis hohes *c* bei relativ hohem *al*	
	V. Femische Silikatgesteine VI. Femische oder Ca-reiche, alkalische Silikatgesteine	reich an *fm* oder *c* bei relativ niedrigem *al*	
B	VII. Alumosilikatgesteine, extrem *al*-reich (z. B. metamorphe Tone) VIII. SiO_2-Gesteine, extrem *si*-reich (z. B. metamorphe Sandsteine) IX. Kalksilikatgesteine, extrem *c*-reich, (z. B. metamorphe Mergel) X. Karbonatgesteine, extrem *c*-reich und CO_2-reich (z. B. metamorphe Kalksteine, Dolomit)		weit vorwiegend Paragesteine
C	XI. Femische Oxydgesteine XII. Alumo-Oxydgesteine	arm an *si* und CO_2	Sonderfälle von Paragesteinen und Erzlagerstätten

In früheren Arbeiten ist bereits gezeigt worden, wie sich die Werte *(al—alk)* und *c* besonders gut zur chemischen Systematik der Gesteine eignen. Den Berechnungsregeln nach muss: *(al—alk)* + *c* + 2 *alk* + *fm* stets 100 geben. Man kann die vier Grössen zu Eckpunkten eines Tetraeders wählen, wobei man jedoch das Dreieck *(al—alk), c* mit dem Scheitelpunkt *fm* rechtwinklig lässt. Nach verschiedenen *alk* legt man durch das rechtwinklige Tetraeder parallel der Seitenfläche *(al—alk), c, fm* (mit *alk* = 0) Schnitte und trägt die Grenzlinien in solche Schnittfiguren ein. Für den nicht sehr häufigen Fall *(al—alk)* = negativ, schliesst sich an das gleichfalls rechtwinklige Dreieck *fm*, 2 *alk, c*, ein zum obern Haupttetraeder symmetrisches Tetraeder an. In der Figur 1 sind solche Schnitte gezeichnet und die Grenzlinien angegeben. Ohne Einzelheiten zu berücksichtigen, sei zu einer ersten Orientierung über die angegebenen Gruppen kurz referiert. Die Ausarbeitung wird sich in dem 2. Bande der „Gesteinsmetamorphose" vorfinden. Er enthält auch eingehende Darlegungen über die Beziehung dieser chemischen Klassifikation zu mineralogischen, geologisch-genetischen und physikalisch-chemisch-genetischen Einteilungen. Es soll in keiner Weise der Eindruck erweckt werden, dass letztere weniger wichtig sind.

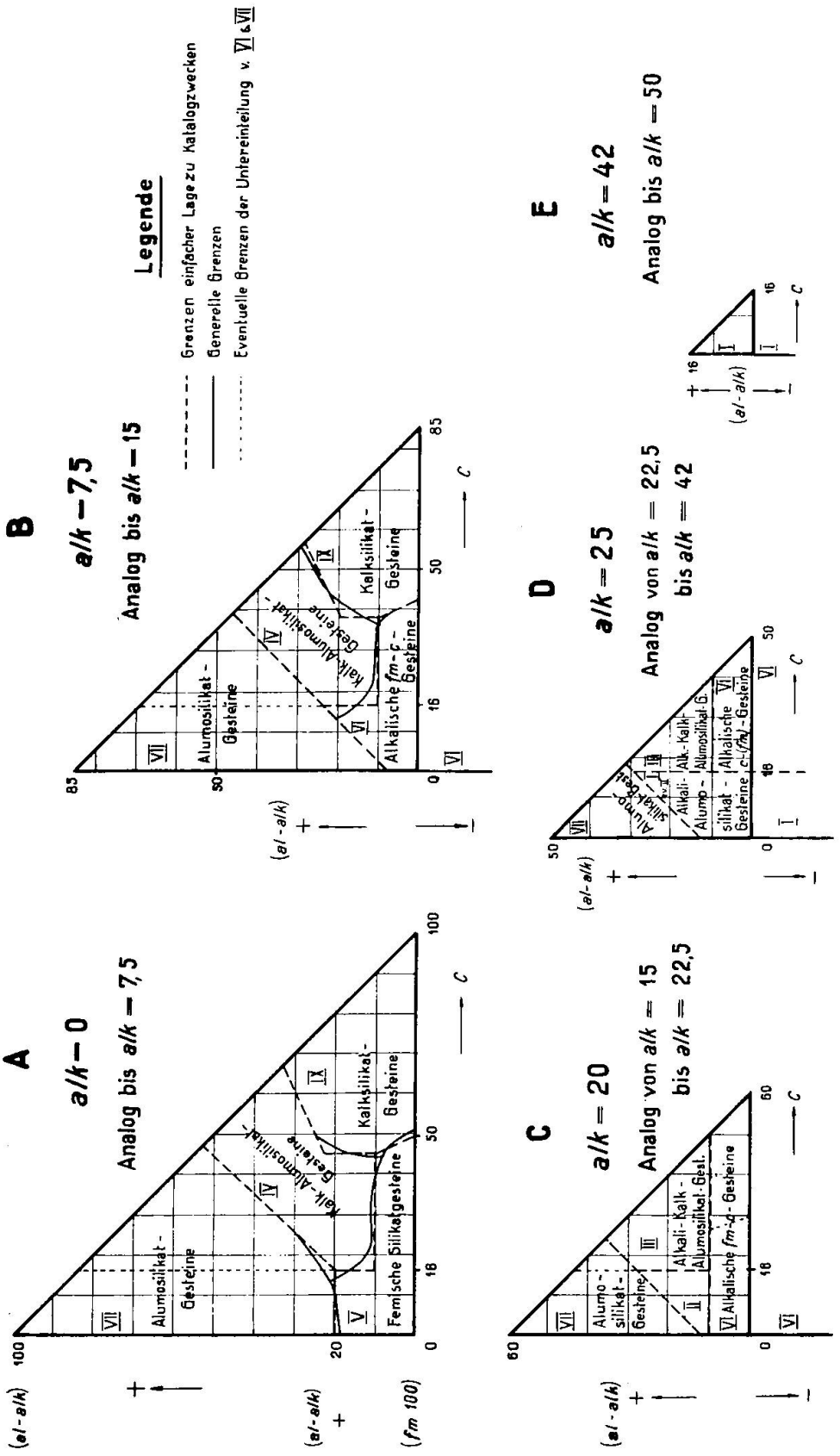

Fig. 1. Darstellung der Felder der chemischen Gruppen metamorpher Gesteine in Diagrammen mit $(al - alk)$ und c als Hauptgrößen.

I. ALKALI-ALUMOSILIKATGESTEINE

Es sind vorwiegend Orthogesteine granitisch-syenitisch-foyaitischer Magmen. Alkali-Alumosilikate spielen die Hauptrolle.

alk und *al* sollen normalerweise grösser als 22,5 sein, *c* kleiner als 16, $al < c + 4/3\, alk + 5$.

Am verbreitetsten ist die relativ SiO_2-reiche Gruppe.

Hauptmineralien:

Katazone: Quarz, Alkalifeldspäte, kalkarme Plagioklase, Biotit.
Mesozone: Muskovit neben den soeben genannten Mineralien.
Epizone: Sericit, Albit, Chlorit.

CaO-reichere Augite und Hornblenden, Zoisit, Epidot, Karbonate sind infolge des relativ geringen CaO-Gehaltes spärlich, ebenso treten Granat, Sillimanit, Cordierit, Andalusit, Disthen höchstens akzessorisch auf, da typischer Tonerdeüberschuss fehlt.

Bei niedrigem *si* findet man etwa: Jadeit, Nephelin. Alkaliaugite oder Alkalihornblenden können vorhanden sein.

Die Grosszahl der granitischen Orthogneise (Biotitgneise, Zweiglimmergneise, sogenannte Epigneise mit Sericit und Chlorit als Neubildungen) gehört dieser Gruppe an. Auf den geologisch-petrographischen Karten der Schweiz fallen im wesentlichen die Orthogneise und viele sogenannte feldspatreiche Gneise der Misch- oder Injektionszonen in diese Kategorie. Die Unterteilungen erfolgen nach *si* und *fm;* ferner nach der Grösse *(al—alk).* Die *si*-arme Gruppe ist nur kata- bis mesozonal deutlich abgrenzbar (Nephelingneise, Jadeitite, Sanidinite). Das Verhältnis der Alkalien (also *k*) muss bei der näheren Typenzuordnung stets berücksichtigt werden. Typische Na-reiche Gesteine sind beispielsweise die Adinole.

II. ALKALI-ALUMOSILIKATGESTEINE MIT ZURÜCKTRETENDEM *alk*

Sie schliessen sich bei niedriger *alk*-Zahl (immerhin > 15) unmittelbar an die Gesteine der Gruppe I an. Da *al* gegenüber *alk* ähnliche Werte besitzt und *c* niedrig bleibt, ist *fm* meist höher als in I. Neben Orthogesteinen findet man u. a. alkalisierte metamorphe Tongesteine und mannigfache Injektionsgesteine in dieser Gruppe. Manche der glimmerreichen oder feldspatärmeren Gneise und Schiefer der Alpen fallen bereits in dieses Chemismusfeld.

Der Unterschied im Mineralbestand gegenüber I muss ja in erster Linie im erhöhten Gehalt an dunklen Gemengteilen, besonders Biotit in Kata- und Mesogesteinen, Chlorit in Epigesteinen, liegen.

Es ist jedoch zweckmässig, auch Gesteine mit $alk > 22{,}5$ als besondere Abteilung zu dieser Gruppe zu rechnen, wenn $si : alk > 15$ ist,

ohne dass wie bei Quarziten *si* grösser 400 + 4 *alk* wird. Hiebei wird durch Quarz der Gehalt an Feldspäten oder anderen Alkali-Alumosilikaten verdünnt (z. B. manche Hälleflinte, Cornubianite, Leptite, Granulite).

III. KALK-ALKALI-ALUMOSILIKATGESTEINE

Gegenüber I und II ist *c* grösser (> 16); *alk* besitzt immer noch Werte > 15. Kein wesentlicher Tonerdeüberschuss (*al—alk* wohl grösser 10, jedoch $al < c + 4/3\ alk + 5$). Häufig dem Chemismus nach granodioritisch-dioritischen bis -monzonitischen Magmen entsprechend. Auch Paragesteine von ursprünglich mergeligem Chemismus, jedoch meist alkalisiert oder durch Injektion verändert.

Mineralien: Kalkhaltige Mineralien stärker hervortretend als in I und II, z. B. kalkreicherer Plagioklas oder in Meso- bis Epizone Zoisit und Epidot. Ausserdem spielen Augite, besonders jedoch Hornblenden nicht selten eine bedeutende Rolle. Es handelt sich um eine typische Übergangsgruppe zu der alkaliärmeren, weitverbreiteten Gruppe IV.

Plagioklasgneise, Biotit-Plagioklasgneise, Hornblendegneise, Hornblendeschiefer sind neben epidotführenden Chlorit-Sericitschiefern oder gar Prasiniten u. a. hieher gehörig.

Nach $alk \gtrless 22{,}5$ können zwei Unterabteilungen unterschieden werden, die weiterhin nach *fm* in Typen einzuteilen sind. *si* ist in dieser Gruppe meist grösser als 200, durchwegs scheint es grösser als etwa 130 zu sein. In Gruppe IV besitzt die Hauptmasse der Analysen *si*-Werte um 100.

IV. KALK-ALUMOSILIKATGESTEINE

$c > 16$, $alk < 15$, kein wesentlicher Tonerdeüberschuss. $al—alk > \frac{1}{2} c$. Der Chemismus entspricht den normalen gabbrodioritischen und gabbroiden bis anorthositischen Magmen (daraus Orthogesteine), aber auch, abgesehen vom CO_2-Gehalt, demjenigen vieler Mergel (daraus Paragesteine).

Die Alkalifeldspäte treten ganz zurück, in Kata- bis Mesozone dominiert basischer Plagioklas, der in der Epizone dem Saussurit (Gemenge von Albit, Zoisit, Epidot) weicht. Pyroxene und Granat (z. B. in Eklogit) sind neben Skapolithen für manche Katagesteine wichtig. Hornblenden, Granat neben Glimmer oder Epidot, Zoisit, Chlorit treten in Meso- und Epizone auf. Die verschiedenen Amphibolite und viele Grünschiefer gehören hieher. Eine *si*-reichere Gruppe $si > 150$ ist viel spärlicher vertreten (Amphibolitgneise etc.) als die

si-arme Gruppe mit *si* 40—150. Je nach dem *fm*-Gehalt ($\gtrless$ 28) lassen sich *fm*-arme oder *fm*-reichere Gesteine unterscheiden.

V. FEMISCHE SILIKATGESTEINE

Hier ist $fm > c$ und grösser als 50. *alk* ist kleiner als 7,5 und $al = 0$ bis höchstens 27. Die Alumosilikate treten zu Gunsten femischer Silikate zurück. Hornblenditische, pyroxenitische und peridotitische Magmen haben derartigen Chemismus. Pyroxene, Hornblenden, Olivine und bei niedriger Temperatur Serpentin, Talk, Chlorite sind häufig auftretende Mineralien. Olivinamphibolite, Eulysite, Nephrite, Strahlsteinschiefer, Olivinfelse, Serpentine, Talkschiefer, Chloritschiefer gehören u. a. hieher.

Untereinteilungen nach *c* ($\gtrless$ 16) und *(al—alk)* möglich. Ausserdem ist der *mg*-Wert charakteristisch (z. B. *mg* klein in Eulysiten, Schwarzfelsen, Grüneritskarnen, Itabiriten, Collobrièriten).

VI. Fe-, Mg- ODER Ca-REICHE, ALKALISCHE SILIKATGESTEINE

Der Alkaligehalt ist nicht unwesentlich ($alk > 7{,}5$, also höher als in V). *al* ist jedoch nicht erheblich grösser, manchmal sogar niedriger als *alk; fm* oder *c* sind von ähnlicher Bedeutung wie in V. Von Eruptivgesteinen besitzen Theralithe, Shonkinite, Alkalibasalte, manche Monzonite und Lamprophyre ähnlichen Chemismus. Metamorphe Gesteine dieser Gruppe stammen auch von Tuffen oder alkalisierten bezw. relativ alkalireichen Paragesteinen ab. Neben Injektionsgesteinen findet man hier Biotit-Plagioklasgneise, Chloromelanitgesteine, albit- und glaukophanreiche Gesteine, Biotitschiefer, alkalireichere Kalkphyllite usw. Unterteilungen nach *alk, fm, c* und dem Verhältnis *k*. Gesteine mit $c > fm$ sind in dieser Gruppe spärlich vertreten, sonst wäre eine Zweiteilung notwendig.

VII. ALUMOSILIKATGESTEINE

Für sie ist erheblicher Tonerdeüberschuss über Alkalien und CaO charakteristisch. Derartige Verhältnisse findet man bei tonigen Sedimenten, meist ist daher *c* relativ niedrig (zweckmässige Grenze $al > c + 4/3\ alk + 5$). Es müssen als wesentliche Gemengteile typische Al_2O_3-reiche Mineralien auftreten, z. B.:

Katazone: Granat, Sillimanit, Andalusit, Cordierit, Spinell.

Mesozone: Reichlich Muskovit, Granat, Staurolith, Disthen.

Epizone: Granat, Sprödglimmer (z. B. Chloritoid), tonerdereicher Sericit. Dazu kommen Quarz und in Abhängigkeit von den Entstehungsbedingungen die Feldspäte, Biotit, Chlorit, seltener Hornblenden.

Neben Andalusit-Cordierithornfelsen, Granat-Sillimanitgneisen ist in der Schweiz die mesozonale Ausbildung: „Granatglimmerschiefer, Staurolithschiefer, Disthenglimmerschiefer" und die epizonale Facies: „Phyllite, Sericitschiefer, Sericitchloritschiefer, Sericitalbitgneise, Chloritoidschiefer usw." reichlich vertreten.

Die Gliederung der sehr umfangreichen Gruppe kann erfolgen nach der Grösse des Tonerdeüberschusses, nach Absolutgehalt von *alk* und *fm*. Sollten häufiger Gesteine mit hohem Tonerdeüberschuss und hohem *c* bekannt werden, so müsste eine grössere Selbständigkeit beanspruchende Untergruppe kalkreicher Alumosilikatgesteine geschaffen werden.

VIII. SiO_2-GESTEINE

Es ist ganz allgemein zweckmässig, Gesteine mit $si > 400 + 4\,alk$ von den übrigen abzutrennen, da bei ihnen Quarz dominiert. Es handelt sich um Quarzite im weitern Sinne. Viele dieser Gesteine, wenn auch lange nicht alle, sind Paragesteine.

IX. KALKSILIKATGESTEINE

Hier ist *c* grösser als *fm; alk* relativ niedrig (kleiner als etwa 15). Ist $al - alk > 10$, so muss $c > 45 - alk$ sein. Im Verhältnis 1 : 1 lässt sich nicht mehr als maximal etwa $\frac{1}{2}\,c$ an *al* binden. Infolgedessen müssen typische Kalkmineralien auftreten: Pyroxene (z. B. auch Diopsid), Kalkgranat, Wollastonit, Skapolith, Vesuvian in der Katazone und Grammatit oder andere Hornblenden, Zoisit, Epidot, Prehnit, Kalksprödglimmer oder Karbonate neben Quarz bei niedriger Temperatur. Die Grosszahl der hiehergehörigen Gesteine gehört zu den Paragesteinen oder Gesteinen des pneumatolytischen Kontaktes an Kalken und Dolomiten. Zu den Kalkglimmerschiefern müssen viele der penninischen Bündnerschiefer gerechnet werden.

Eine *fm*-ärmere lässt sich von einer *fm*-reicheren Untergruppe unterscheiden ($fm \gtrless 25$). Die Granatfelse (um ein Beispiel für die Bedeutung der *mg*-Zahl zu nennen) haben meist kleines *mg*, Pyroxenfelse oft hohes *mg*.

X. KARBONATGESTEINE

Ist $si < 40$ und sind *c* und oder *fm* hoch, so tritt am häufigsten CO_2 an Stelle von SiO_2. Die Marmore der verschiedenen Zonen, mit einzelnen Silikaten oder oxydischen Mineralien, müssen dieser Gruppe zugeordnet werden.

XI. FEMOXYDISCHE GESTEINE

Bei geringem oder mangelndem SiO_2-Gehalt (*si* z. B. < 40) gehen die Gesteine der Gruppe V in oxydische Gesteine über mit Hämatit, Magnetit, Manganoxyden oder gar Periklas bezw. Brucit als Hauptgemengteilen.

XII. ALUMO-OXYDISCHE GESTEINE

Ebenso schliessen sich an Gruppe VII bei mangelndem SiO_2 Gesteine an wie die Schmirgel (mit vorwiegend Korund) oder Spinellhornfelse usw.

Eingegangen: 20. August 1934.