

# I. ABHANDLUNGEN

Aus dem Institut für Mineralogie und Petrographie der Universität Graz

## Chemische Analysen gabbroider und eklogitischer Gesteine und ihrer Mineralien vom Fundpunkt Lenzbauer in Gressenberg bei Schwanberg, Koralpe, Steiermark

Von Haymo HERITSCH und Frank BOSSERT

Mit 13 Tabellen im Text

(Eingelangt am 29. April 1969)

**Inhalt:** Vom Fundpunkt Gressenberg, südliche Koralpe, werden chemische Analysen und Analysenberechnungen gebracht von a) Gabbro und seinem Pyroxen b) gabbroidem Anteil und Hornblende-Pyroxen-Granat-Zoisit-Schiefer („Diallageklogit“) - Anteil eines Mischgesteines, das diese beiden Anteile in kleinem Volumen nebeneinander enthält. Mineralanalysen von Na-Augit, Granat und Hornblende des Hornblende-Pyroxen-Granat-Zoisit-Schiefers werden bekanntgegeben. Die Paragenese wird kurz diskutiert.

### Der Fundpunkt:

Die im folgenden bearbeiteten Proben stammen aus dem nordwestlichen Teil des vor kurzem von Adolf WINKLER 1966 auskartierten Blockfeldes, das sich etwa 4 km in der Gemeinde Gressenberg über einen Bergrücken von Straßenhohl bis Lenzbauer erstreckt. Das Gebiet ist zur Zeit durch einen gut fahrbaren Güterweg von Schwanberg aus in nordwestlicher Richtung zugänglich. Die Fundstellen liegen in der auffallenden Blockanhäufung bei Gasthaus Lenzbauer.

### Zielsetzung:

Die Blöcke des großen Blockfeldes umfassen verschiedene Gesteinstypen. Abgesehen von Pegmatit und Gneis, die hier nicht zur Diskussion stehen, unterscheidet A. WINKLER Gabbro, feinkörnigen Eklogit und Diallageklogit. Im Sinne der jetzt vorliegenden Arbeit und im Sinne von HERITSCH & WITTMANN 1969 ist unter feinkörnigem Eklogit ein Eklogit bis Eklogitamphibolit vom Typus Mauthnerock, unter Diallageklogit ein Hornblende-Pyroxen-Granat-Zoisit-Schiefer zu verstehen.

Die Entstehung des Blockfeldes ist nicht Gegenstand dieser Arbeit. Es sei hiezu auf die Arbeit von Adolf WINKLER 1966 verwiesen, die auch die entsprechende Literatur anführt. Ziel der Arbeit ist vielmehr eine detaillierte Untersuchung von Gabbro und eines merkwürdigen, komplex aufgebauten Gesteins, das in einem Stück Gabbro und Hornblende-Pyroxen-Granat-Zoisit-Schiefer enthält u. zw. so, daß beide Bereiche in einem Volumen von etwa  $20 \times 20 \times 20$  cm auftreten. Damit ist für die Frage des Zusammenhanges der beiden Gesteinstypen die Frage der Entstehung des Blockfeldes nicht mehr relevant. Weiterhin sollte nicht nur der Chemismus der Gesamtgesteine, sondern vor allem der Chemismus der einzelnen Mineralphasen erfaßt werden. Dazu wurde ein Frantz Isodynamic Separator mit folgenden Arbeitsbedingungen verwendet: Korn-

größen 0,06—0,1 mm, forward slope 30°, side slope 25° und je nach abgetrennter Phase Stromstärken zwischen 0,52—1,3 Ampere für den Gabbro und Korngrößen zwischen 0,06—0,1 mm, forward slope 20°, side slope 15° je nach abzutrennender Mineralphase Stromstärken zwischen 0,45—1,2 Ampere für den Hornblende-Pyroxen-Granat-Zoisit-Schiefer. Die Kontrolle auf Reinheit erfolgte durch optische und Diffraktometer-Methoden. Klassische, gravimetrische Methoden gelangten neben flammenphotometrischen für Alkalien und titrimetrischen für CaO und MgO bei der chemischen Analyse zur Anwendung.

### **Gabbro, Lenzbauer, Gressenberg, NW Schwanberg**

#### **Gesamtgestein:**

Über diesen Gabbro liegt eine optische Bestimmung von WEBER 1941 vor, die hier nicht wiederholt werden soll. Ferner gibt es Bestimmungen über Gitterkonstanten und Brechungsquotienten von Orthopyroxen sowie Brechungsquotient und I-Index von Plagioklas, HERITSCH 1965, weiterhin über Entmischungslamellen von Orthopyroxen in Klinopyroxen mit Angaben von Gitterkonstanten, HERITSCH 1966 b und schließlich über Gitterkonstanten von Spinell HERITSCH 1966 c.

Es wurde für die folgende Untersuchung ein Gabbro ausgewählt, der vor allem möglichst nur aus Pyroxen und Plagioklas besteht und daher Reaktions säume (Kelyphit) kaum enthält. Dies gelang nicht ganz, jedoch sind die feinkörnigen Reaktionssäume von nur untergeordneter Bedeutung. Die Korngrößen liegen um  $1,0 \times 2,0$  mm. Starke undulöse Auslöschung ist an allen Körnern auffallend. Das Ergebnis der chemischen Analyse, sowie die Berechnung der NIGGLI-Werte und der Norm sind in Tabelle 1 enthalten. Der Magmentyp ist, wie aus Tabelle 2 zu ersehen, pyroxengabbroid bis gabbroid mit einer Tendenz zu gabbrotheralthisch und entspricht daher auch dem Magmentyp des Eklogit amphibolites von Hohl, vgl. HERITSCH & WITTMANN 1969. Jedoch ist beim vorliegenden Gabbro der MgO- und CaO-Gehalt deutlich höher, das umgekehrte gilt für Eisen und in geringerem Maße für Aluminium, so daß nicht völlig chemische Gleichheit besteht. Die Berechnung des modalen Mineralbestandes ist auf Grund der Kenntnis der den Gabbro aufbauenden Mineralphasen leicht möglich. Das Ergebnis ist in der Tabelle 3 zu finden. Dabei ist natürlich für Pyroxen die Analyse der Tabelle 4 angewendet. Wie dort gezeigt wird, besteht der magnetisch abgetrennte Pyroxen aus Klinopyroxen und Orthopyroxen, dieser ist wenigstens teilweise als Entmischungslamellen entwickelt.

#### **Pyroxen:**

Magnetisch läßt sich sehr leicht eine Anreicherung, völlig frei von Plagioklas, gewinnen. Auf Grund der vorliegenden Bearbeitungen, besonders durch HERITSCH 1965, 1966 b, 1966 c war zu erwarten, daß diese Fraktion sowohl aus Klinopyroxen als auch aus Orthopyroxen besteht. Eine Trennung in die beiden Komponenten ist wegen der Lamellen von Orthopyroxen in Klinopyroxen unmöglich. Die chemische Analyse, Tabelle 4, dieser Fraktion ist daher in zweifacher Weise zu berechnen.

a) Die gesamte Fraktion wird als einheitlicher Klinopyroxen berechnet, Tabelle 5, wodurch der Fall angenähert wird, daß ein Gestein mit einheitlichem Klinopyroxen und Plagioklas vorliegt. Da aber laut Erscheinungsbild im Schliff der Orthopyroxen wahrscheinlich nicht nur Entmischungsprodukt ist, würde zuviel (Mg, Fe) SiO<sub>3</sub> in den einheitlichen Pyroxen hineingerechnet sein. Jedoch

würde der Pyroxen in Tabelle 5 einer raschen Abkühlung einigermaßen entsprechen. Die Kontrolle der Analyse nach HESS 1949 zeigt, daß der Wert  $X + Y + W$  so nahe an 2,000 liegt, daß auf eine gute Analyse und reines Analysenmaterial geschlossen werden kann. Allerdings ist der Ladungsausgleich nach OOSTEROM 1963 positiv. Er sollte jedoch auch nach HUCKENHOLZ 1964 negativ sein. Bei der Berechnung der Teilsilikate bleibt ein Rest von etwa 1,3 %  $Fe_2O_3$ , möglicherweise als eingeschlossener Hämatit erklärbar, und etwa 0,5 %  $SiO_2$  übrig.

b) Aus Diffraktometer-Aufnahmen der Pyroxenfraktion in Verbindung mit entsprechenden Test-Gemischen konnte geschlossen werden, daß etwa 15 % Gewicht Orthopyroxen einem Klinopyroxen beigemischt sind. Aus optischen Daten und aus Gitterkonstanten-Bestimmung hat HERITSCH 1965 und 1966 b für die Orthopyroxene auf einen Gehalt von etwa 70 % Enstatit geschlossen. Deshalb wurde eine Berechnung für folgende Aufteilung durchgeführt: 15 % Gewicht Orthopyroxen mit 70 % Enstatit und der Rest von 85 % Gewicht ist auf einen Klinopyroxen gerechnet, Tabelle 5. Bei der Beurteilung der Analysen nach HESS 1949, OOSTEROM 1963 und HUCKENHOLZ 1964 ist in dem Sinne eine Verbesserung eingetreten, als nun der Ladungsausgleich schwach negativ wird, ferner ist festzustellen, daß die Eintragung der chemischen Zusammensetzung der beiden Pyroxene in das  $CaSiO_3 - MgSiO_3 - FeSiO_3$ -System eine tieflinie ergibt, die bei ungefähr  $En_{23}Wo_{77}$  die Verbindungsgerade Wo-En schneidet. Trotzdem diese Tatsache im Licht der Diskussion bei OOSTEROM 1963 offenbar nicht sehr aussagekräftig ist, kann doch bemerkt werden, daß der hier auftretende Schnittpunkt sehr nahe an den Punkten liegt, die häufig für solche koexistierende Paare gefunden worden sind und wohl auch verschieden interpretiert werden. Eine Entscheidung ob magmatisch oder metamorph ist also damit nicht zu treffen.

#### Plagioklas:

WEBER 1941 bestimmte im U-Tisch an mechanisch stark beanspruchten Plagioklasleisten 85 % An, HERITSCH 1965 gibt an magnetisch separiertem Material  $n\beta = 1,596$ , was einer Zusammensetzung von etwa 72 % An entspricht.

Aus den in Tabelle 6 mitgeteilten Werten folgt ein Gehalt von 72 bis 74 % An, so daß der Wert von WEBER 1941 sicher zu hoch ist. Ferner handelt es sich um Tiefplagioklas, sowohl nach BAMBAUER und Mitarbeitern 1967, wie auch nach SLEMMONS 1962. Denn bezüglich des Ordnungsgrades ist die seinerzeitige, durch einen Ablesefehler im Diagramm zustandegekommene Angabe von HERITSCH 1965, wie auch in der Tabelle 6 angegeben, zu berichtigen. Nach SLEMMONS 1962 haben Plagioklase aus typisch plutonisch-metamorphen Gesteinen einen I-Index von 39 bis 100, so daß eben der vorliegende Plagioklas hierher zu stellen ist, was natürlich mit dem geologischen Befund übereinstimmt.

#### Mischgestein aus Hornblende-Pyroxen-Granat-Zoisit-Schiefer und Gabbro, Fundpunkt Lenzbauer, Gressenberg, NW Schwanberg

Ein solches Mischgestein kann nur sehr selten gefunden werden. In dem hier behandelten, äußerlich massig und nicht schieferig entwickelten, etwa  $20 \times 20 \times 20$  cm großen Stück, stoßen die beiden Anteile in einer unregelmäßigen Fläche aneinander. Schon makroskopisch ist der eine Teil, nämlich der Hornblende-Pyroxen-Granat-Zoisit-Schiefer grün und weiß gesprenkelt, während der andere, gabbroide Anteil schwarz und weiß gefleckt erscheint. Die Übergangszone ist sehr schmal, wenige mm bis 1—2 cm.

## Gabbro aus dem Mischgestein

### Gesamtgestein:

Im Handstück sieht dieser Gesteinsanteil dem oben beschriebenen Gabbro außerordentlich, und somit auch dem von WEßER 1941 bearbeiteten Gabbro, ähnlich. Stellenweise glaubt man eine Andeutung von Schieferung erkennen zu können.

Im Dünnschliff erscheint Plagioklas in den schon erwähnten stark undulösen Körnern, die keine Bestimmung nach der Auslöschungsschiefe zulassen. Die Bestimmung mit Hilfe von  $n\beta = 1,567-1,568$  ergibt etwa 70 % An. Anders, als im oben beschriebenen Gabbro, enthalten die dunklen Teile neben großen Klinopyroxenen noch feinkörnige Partien und feinkörnige Umrandungen um die Klinopyroxene. Das feinkörnige Material ist optisch schwer deutbar; enthält jedoch sicher wesentliche Anteile von Orthopyroxenen. Verbunden damit ist grüner, oft schlauchartig ausgebildeter Spinell. Ein Spinell, allerdings von einem anderen Handstück, lieferte eine Gitterkonstante  $a = 8,116 \pm 0,005 \text{ \AA}$ , HERITSCH 1966 c. Die Korngrößen von Plagioklas und auch die „Korngrößen“ der komplex aufgebauten dunklen Gemengteile entsprechen dem des oben beschriebenen Gabbros und liegen demnach im Bereich von 0,1 bis 2—3 mm. Die Tabelle 7 enthält das Ergebnis der chemischen Analyse, der Berechnung nach NIGGLI, den normativen Mineralbestand und die Werte ACF. Die chemische Zusammensetzung des Gabbros aus dem Mischgestein ist zwar der des oben beschriebenen Gabbros sehr ähnlich, aber nicht gleich; die am meisten auffallenden Unterschiede betreffen Aluminium und Kalzium, was natürlich vor allem eine Verschiebung der Werte für An, aber auch als Folge davon bei Wo ergibt. Die Einordnung mit Hilfe der NIGGLI-Werte ist in Tabelle 2 zu ersehen. Es handelt sich ebenfalls um einen pyroxen-gabbroiden Magmentyp.

Zur Berechnung des modalen Mineralbestandes war es nicht notwendig die Mineralphasen abzutrennen und zu analysieren — was übrigens bei dem Gemenge von Klinopyroxen, Orthopyroxen und Spinell wegen der schlauchartigen Verwachsung von Spinell mit Pyroxen sehr wahrscheinlich gar nicht gelingt. Es konnte vielmehr auf die Ergebnisse des oben beschriebenen Gabbros zurückgegriffen und daraus die Verteilung der wirklich auftretenden Mineralpomonenten errechnet werden. Das Ergebnis enthält Tabelle 8. Es wurde ein etwas An-ärmerer Plagioklas mit 68 % An angenommen, gegenüber 73 % An im anderen Gabbro (Tabelle 3), da  $n\beta$  tatsächlich etwas tiefer liegt und diese Annahme der Berechnung entgegen kommt. Wie aus der Analyse zu erwarten, ist der Plagioklasgehalt etwas höher und der Pyroxengehalt etwas niedriger gegen Tabelle 3 geworden.

## Hornblende-Pyroxen-Granat-Zoisit-Schiefer aus dem Mischgestein

### Gesamtgestein:

Das Gestein macht makroskopisch einen gesprenkelten Eindruck: hellgrüne Partien (Pyroxen) werden durch ein weißes, ebenfalls fleckenartiges, feinstkörniges Grundgewebe verbunden. Durchmesser der unregelmäßigen Flecken etwa 2 bis 4 mm. Dazwischen liegen schlauchartige, braunrote Granatanhäufungen und Anhäufungen eines schwarzbraunen Amphiboles.

Eine ausführliche optische Bearbeitung der Mineralkomponenten wird zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen, so daß hier nur eine kurze Charakteristik

gegeben wird, vgl. hierzu KIESLINGER 1928 und WIESENER 1935. Das Grundgewebe ist äußerst feinkörnig und nicht in allen Details auflösbar; es besteht aber sicher vorwiegend aus Zoisit und Quarz und auch etwas Disthen. Plagioklas ist nicht feststellbar. Diffraktometeraufnahmen ausgesuchter Grundgewebepartien bestätigen dieses Ergebnis.

Der Klinopyroxen ist im Schliff farblos und kommt in großen Körnern (bis 0,6—1,5 mm) mit winzigen Einschlüssen und in kleinen Körnern (0,04 bis 0,1 mm) vor. Ein sicheres Zeichen, daß die beiden Pyroxene wesentlich chemisch verschieden sind, konnte nicht gefunden werden. Um große Pyroxene treten häufig Kränze von kleinen Pyroxenen, Mörtelkränze nach WIESENER 1935, auf.

Granat erscheint häufig als Umwachsung von Pyroxen, teilweise in Einzelkörnern, aber auch in großen lappigen Formen mit gelegentlich entwickelten Kristallflächen. Der Granat ist reich an sehr kleinen blättrigen Einschlüssen, ferner enthält der Granat Einschlüsse von Quarz.

Die makroskopisch schwarzbraunen bis braungrünen Amphibole sind stengelig entwickelt mit Korngrößen von  $0,05 \times 0,11$  mm bis  $0,7 \times 1,6$  mm und im Dünnschliff fast farblos und praktisch ohne Pleochroismus. Oft werden kleine Pyroxenkristalle ganz von Amphibolkristallen umgeben.

In der Tabelle 9 ist die chemische Analyse des Gesteines, die Berechnung der NIGGLI-Werte, der Norm und ACF ausgewiesen. Der unmittelbare Vergleich der Analysenwerte mit den Werten des Gabbros aus dem Mischgestein zeigt, daß beide Anteile praktisch chemisch ident sind, d. h. daß der Gabbro und der Hornblende-Pyroxen-Granat-Zoisit-Schiefer trotz ihres verschiedenen Mineralbestandes chemisch gleich sind. In der Größe eines Blockes von  $20 \times 20 \times 20$  cm liegt also die Grenze einer isochemischen Metamorphose. Es ist das Ziel noch weiterer Untersuchungen, die teilweise schon vorliegen, diese interessante Tatsache zu verfolgen; die Rolle des Wassers scheint dabei eklatant zu sein.

Auf Grund der chemischen Gleichheit beider Gesteine sind natürlich die NIGGLI-Werte, Norm und ACF ebenfalls fast ident. Der Vergleich mit Magmentypen, Tabelle 2, ergibt also ebenso ein pyroxengabbroides Magma.

Der modale Mineralbestand läßt sich auf Grund der weiter unten angegebenen chemischen Einzelanalysen der Mineralphasen berechnen und ist in Tabelle 10 enthalten. Die chemische Ähnlichkeit mit dem Pyroxen-Granat-Zoisit-Schiefer von Hohl, HERITSCH & WITTMANN 1969 ist wohl gegeben, jedoch unterscheiden sich die Werte für  $Al_2O_3$ , MgO und CaO doch beträchtlich. Auch hier sind weitere Untersuchungen über die Variationsbreite angesetzt.

### Granat:

Der Granat läßt sich magnetisch sehr leicht abtrennen, jedoch ist er auf Grund der sehr kleinen Einschlüsse nie völlig rein zu gewinnen. Die Tabelle 11 bringt das Ergebnis der chemischen Analyse und ihrer Berechnung. Die Formelberechnung auf Basis von 24 Sauerstoffatomen zeigt, daß das Material nicht rein gewesen ist, daher wird eine Berechnung auf Teilsilikate durchgeführt, die dann tatsächlich einen Rest, d. h. Verunreinigungen von Disthen und Quarz ergibt.

Der Vergleich mit dem Granat aus dem Pyroxen-Granat-Zoisit-Schiefer von Hohl, HERITSCH & WITTMANN 1969 zeigt eine weitgehende Übereinstimmung darin, daß der Pyropgehalt relativ hoch und der Almandingehalt relativ

niedrig ist, also umgekehrt wie beim Granat aus Eklogitamphibolit von Hohl (Typus Mauthnereck) HERITSCH & WITTMANN 1969.

Neben den beobachteten Werten für Lichtbrechung und den Gitterkonstanten enthält die Tabelle 11 auch die aus der chemischen Zusammensetzung, unter der Voraussetzung der linearen Abhängigkeit der physikalischen Konstanten, berechneten Größen. Die Übereinstimmung beim Brechungsquotienten ist gut, die berechnete Gitterkonstante fällt jedoch etwas zu hoch aus.

Nach TRÖGER 1959 kann der Granat in die Gruppe „Granat aus Eklogit“ und nach COLEMAN und Mitarbeitern 1963 in das Feld der Gruppe „B-Eklogite“, das sind Granate aus Eklogiten in Gneis und Migmatit, eingeordnet werden.

Zum Vergleich kann ferner aus einer offenbar sehr ähnlichen Paragenese, nämlich ebenfalls einer Gabbro-Eklogitumwandlung, ein Granat vom Cabo Ortegal herangezogen werden. Die Zusammensetzung ist dort Almandin 29,0 %, Pyrop 41,7 Prozent, Spessartin 1,0 Prozent, Grossular 18,8 Prozent, Andradit 9,5 Prozent, VOGEL und WARNAARS 1967.

### Klinopyroxen:

In der Tabelle 12 ist die chemische Analyse und ihre Berechnung angeführt. Eine direkte Berechnung der Analyse, ohne jede Korrektur, auf eine Pyroxenformel führt zu einem Ergebnis, das nach den Kriterien von HESS 1949, OOSTEROM 1963 und HUCKENHOLZ 1964 nicht mehr zulässig wäre. Dies ist, wie auch die Diffraktometer-Aufnahmen und die optische Kontrolle zeigen, wegen der Beimengung von Zoisit und Quarz gegeben. Infolge der feinen Verwachsungen ließ sich aber keine Verbesserung des Analysengutes erzielen. Deshalb mußte die Korrektur, wie auch in Tabelle 12 vermerkt, rechnerisch angebracht werden. Die nun resultierende Formel entspricht hinsichtlich Auffüllung der Position durchaus, ist aber im Ladungsausgleich noch immer, wenn auch nicht stark, positiv. Trotzdem kann das Berechnungsergebnis doch als repräsentativ für den chemischen Bestand des Pyroxenes angesehen werden.

Zur Namengebung des Pyroxenes kann einmal die Darstellung bei DEER, HOWIE & ZUSSMANN 1963:154 herangezogen werden. Der vorliegende Pyroxen hat für Omphazit einen sicher zu niedrigen  $\text{Na}_2\text{O}$ -Gehalt, der über 4 % betragen müßte. Auch nach der Nomenklatur von ESSENE & FYFE 1967 — allerdings mit der Einschränkung, daß am hier beschriebenen Pyroxen  $\text{Di} + \text{Ac} + \text{Jd}$  nur 77 % ausmacht und nicht mindestens 80 % — folgt nach dem angegebenen Diagramm die Bezeichnung Natrium-Augit.

Es ist daher selbstverständlich, daß der hier bearbeitete Pyroxen enge Beziehungen zum Pyroxen des Pyroxen-Granat-Zoisit-Schiefers von Hohl, HERITSCH & WITTMANN 1969, hat. So zeigt die, nach Abzug des verunreinigenden Zoisites und Quarzes, auf die Summe 100 umgerechnete Analyse einen etwas höheren  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ - und  $\text{FeO}$ -Wert, dagegen sind  $\text{MgO}$  und  $\text{CaO}$  etwas niedriger. Deutlich wirkt sich das bei der Teilsilikatberechnung auf den Diopsid aus.

Ferner liegt eine weitere Analyse eines hellgrünen Klinopyroxenes von Gressenberg vor, aus einem sehr grobkörnigen Gestein aus Klinopyroxen, Granat und Hornblende, HERITSCH 1965, der schon wegen des niedrigen  $\text{Na}_2\text{O}$ -Gehaltes Beziehung zum vorliegenden Pyroxen hat. Es wird aber noch notwendig sein, weiteres Material zu untersuchen, um die Variationsbreite des Pyroxenes zu überblicken.

Jedenfalls unterscheidet sich der in den Eklogitamphiboliten auftretende Omphazit deutlich von dem Pyroxen aus den Pyroxen-Granat-Zoisit-Schiefen.

## Hornblende:

Die Tabelle 13 bringt die chemische Analyse der makroskopisch braun-grünen, im Dünnschliff fast farblosen Hornblende und die Berechnung der Formel mit der Basis 13 Kationen in der 4- und 6-Koordination. Dieser Weg wurde für die Berechnung von zahlreichen Hornblenden, auch aus dem Bereich der Koralpe, die vom hiesigen Institut aus bearbeitet wurden, wegen der Schwierigkeit der Wasserbestimmung gewählt. Ebenso, wie der Omphazit der Eklogit-Amphibolite vom Klinopyroxen der Pyroxen-Granat-Zoisit-Schiefer, weicht die Hornblende der Eklogitamphibolite („Karinthin“) von der vorliegenden Hornblende ab. „Karinthine“ haben niedrige SiO<sub>2</sub>- und höhere Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Werte, der CaO- und MgO-Wert ist im „Karinthin“, wenn auch nicht viel, niedriger, vgl. HERITSCH & KAHLER 1960, MACHATSCHKI & WALITZI 1962. Die von HERITSCH 1965 bekanntgegebene Formel einer Hornblende von Gressenberg aus einem sehr grobkörnigen Klinopyroxen-Granat-Hornblendegestein steht ebenfalls der hier beschriebenen Hornblende chemisch nahe, ist aber doch nicht chemisch ident, sondern noch SiO<sub>2</sub>-reicher und Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ärmer. Auch hier müssen weitere Untersuchungen die Variationsbreite abklären.

Tabelle 1

Gabbro, Fundpunkt Lenzbauer, südliche Koralpe  
Analytiker F. BOSSERT

	Gew.-%	NIGGLI-Werte		Norm	
SiO <sub>2</sub>	50,36	al	19	Or	0,3
TiO <sub>2</sub>	0,29	fm	39	Ab	14,9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,12	c	38,5	An	33,3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,16	alk	3,5	Wo	20,9
FeO	3,01			En	19,4
MnO	0,11			Fs	4,1
MgO	9,67	si	106	Ol	3,4
CaO	17,03	mg	0,77	Il	0,6
Na <sub>2</sub> O	1,76	k	0,02	Mt	3,1
K <sub>2</sub> O	0,05				
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	sp.		A		18,5
H <sub>2</sub> O+	1,01		C		42,2
	<u>100,57</u>		F		39,3

Tabelle 2

Vergleich des Gabbro, Lenzbauer, des Gabbro aus Mischgestein und des Pyroxen-Granat-Zoisitschiefers, Fundpunkt Lenzbauer, mit Magmentypen nach BURRI 1959 und nach TRÖGER 1935.

	si	al	fm	c	alk	k	mg
pyroxengabbroid	100	23,5	40,5	31,5	4,5	0,2	0,7
α-gabbro-thermalithisch	100	15	40	35	10	0,25	0,5
Gabbro, Zobten	105	22,5	39,5	32	6	0,08	0,68
Gabbro Lenzbauer	106	19	39	38,5	3,5	0,02	0,77
Gabbro aus							
Mischgestein Lenzbauer	105	23	39,5	33,5	4,0	0,01	0,75
Pyroxen-Granat-Zoisitschiefer							
aus Mischgestein Lenzbauer	105	23	40	34	3	0,03	0,74

Tabelle 3

Modaler Mineralbestand des Gabbro, Fundpunkt Lenzbauer, berechnet aus der Analyse von Pyroxen, Tabelle 4 und aus der chemischen Zusammensetzung eines Plagioklasses mit 73 % An.

	Gew.-%
Plagioklas 73 % An	39,0
Pyroxen: Klinopyroxen mit 15 % Orthopyroxen	61,0
	100,0

Tabelle 4

Pyroxenfraktion aus Gabbro, Fundpunkt Lenzbauer, Analytiker F. BOSSERT.

	Gew.-%
SiO <sub>2</sub>	50,77
TiO <sub>2</sub>	0,49
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,33
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,71
FeO	5,06
MnO	0,16
MgO	15,26
CaO	18,86
Na <sub>2</sub> O	0,82
K <sub>2</sub> O	0,04
H <sub>2</sub> O+	0,82
	100,32

Tabelle 5

Pyroxenfraktion aus Gabbro, Fundpunkt Lenzbauer,

a) berechnet als einheitlicher Klinopyroxen

	Basis 6 Sauerstoffe	
Si	1,878	
Al	0,122	2,00
Al	0,067	
Ti	0,014	
Fe <sup>+3</sup>	0,103	
Fe <sup>+2</sup>	0,156	1,19
Mn	0,005	
Mg	0,841	
Ca	0,747	
Na	0,059	0,81
K	0,002	
Z	2,000	
Y + X + W	1,994	
Σ e	0,015	
Ca	40,5	
Mg	44,2	
Σ Fe	15,3	
Ac	5,3	
Ti-A	1,2	
Tsch	7,0	
Hd	13,9	
Di	42,4	
En	30,2	

b) berechnet als Gemenge von 85 % Klinopyroxen und 15 % Orthopyroxen			
	Klinopyroxen	Orthopyroxen	
	Basis 6 Sauerst.	Basis 3 Sauerst.	
	1,870	1,000	
	0,130	2,00	
	0,097		
	0,016		
	0,073		
	0,079	1,03	0,300
	0,006		
	0,757		0,700
	0,899		
	0,071	0,97	
	0,002		
	2,000		
	2,000		
	— 0,001		
	48,7		
	40,6		
	10,7		
	7,1		
	1,6		
	9,4		
	8,3		
	68,2		
	5,4		

Tabelle 6

Daten über Plagioklas aus Gabbro, Fundpunkt Lenzbauer.

$n\beta = 1,569$	HERITSCH 1965	: 72 % An
$n\beta = 1,571$	vorliegende Arbeit	: 74 % An
$Na_2O = 3,04$ Gew.-%		: 73 % An
$K_2O = 0,00$		
$\Delta (\theta)_1 = 2\theta_{131} - 2\theta_{\bar{1}\bar{3}\bar{1}} = 2,06_2^0$		: 72 % An Tiefplagioklas oder nahe
$\Delta (\theta)_1 = 2\theta_{131} - 2\theta_{\bar{1}\bar{3}\bar{1}} = 2,06^0$ (HERITSCH 1965)		Tiefplagioklas nach BAMBAUER und Mitarbeitern 1967;
$\Delta (\theta)_2 = 2\theta_{\bar{2}\bar{4}\bar{1}} - 2\theta_{24\bar{1}} = 0,02_5^0$		I-Index 60—70 nach SLEMMONS 1962

Tabelle 7

Gabbro aus Mischgestein, Fundpunkt Lenzbauer, südliche Korralpe  
Analytiker F. BOSSERT

	Gew.-%	NIGGLI-Werte		Norm	
SiO <sub>2</sub>	49,33	al	23	Or	0,2
TiO <sub>2</sub>	0,40	fm	39,5	Ab	15,1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,30	c	33,5	An	42,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,86	alk	4,0	Wo	13,1
FeO	3,77			En	15,6
MnO	0,09			Fs	4,9
MgO	9,44	si	105	Ol	5,5
CaO	14,81	mg	0,75	Il	0,8
Na <sub>2</sub> O	1,78	k	0,01	Mt	2,7
K <sub>2</sub> O	0,03				
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	sp.	A		22,7	
H <sub>2</sub> O+	0,71	C		37,0	
	<u>100,52</u>	F		40,3	

Tabelle 8

Modaler Mineralbestand des Gabbro aus Mischgestein, Fundpunkt Lenzbauer.

	Gew.-%
Plagioklas 68 % An	43,6
Klinopyroxen	39,1
Orthopyroxen 70 % En	12,2
Spinell	3,6
Erz	1,5
	<u>100,0</u>

Tabelle 9

Hornblende-Pyroxen-Granat-Zoisit-Schiefer aus Mischgestein, Fundpunkt  
Lenzbauer, südliche Korralpe, Analytiker F. BOSSERT.

	Gew.-%	NIGGLI-Werte		Norm	
SiO <sub>2</sub>	49,03	al	23	Or	0,4
TiO <sub>2</sub>	0,44	fm	40	Ab	11,1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,12	c	34	An	43,7
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,89	alk	3	Wo	12,8
FeO	3,99			En	22,1
MnO	0,10			Fs	5,3
MgO	9,32	si	105	Ol	0,9
CaO	14,90	mg	0,74	Il	0,9
Na <sub>2</sub> O	1,30	k	0,03	Mt	2,8
K <sub>2</sub> O	0,06				
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	sp.	A		23,3	
H <sub>2</sub> O+	1,09	C		36,8	
	<u>100,24</u>	F		39,9	

Tabelle 10

Modaler Mineralbestand des Hornblende-Pyroxen-Granat-Zoisit-Schiefers aus Mischgestein, Fundpunkt Lenzbauer, berechnet aus der Analyse von Pyroxen, Tabelle 12, Granat, Tabelle 11, Hornblende, Tabelle 13 und der chemischen Zusammensetzung von Zoisit und Disthen.

	Gew.-%
Pyroxen	13,5
Granat	14,0
Zoisit	26,0
Hornblende	38,5
Disthen	2,0
Quarz	<u>6,0</u>
	100,0

Tabelle 11

Granat in Hornblende-Pyroxen-Granat-Zoisitschiefer aus Mischgestein, Fundpunkt Lenzbauer, Analytiker F. BOSSERT.

	Gew.-%	Bas. 24 Sauerst.				
SiO <sub>2</sub>	39,94	Si	5,963	6,00	Almandin	33,7
TiO <sub>2</sub>	0,26	Al	0,037		Pyrop	41,7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,57	Al	3,933	4,18	Spessartin	0,9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,92	Ti	0,030		Grossular	18,1
FeO	15,51	Fe <sup>+3</sup>	0,215	5,74	Andradit	5,6
MnO	0,42	Fe <sup>+2</sup>	1,936		Verunreinigungen	
MgO	10,73	Mn	0,053		3,3 Gew.-% Disthen	
CaO	8,52	Mg	2,386		0,3 Gew.-% Quarz	
	<u>99,87</u>	Ca	1,362			

beobachtet

vorliegende Arbeit	: n = 1,763	a = 11,573 ± 0,008 Å
HERITSCH 1966 c	: n = 1,766	a = 11,576 ± 0,004 Å
berechnet	: n = 1,767	a = 11,587 Å

Tabelle 12

Klinopyroxen in Hornblende-Pyroxen-Granat-Zoisitschiefer aus Mischgestein,  
Fundpunkt Lenzbauer, Analytiker F. BOSSERT.  
Nach Abzug von 8,00 % Zoisit und 3,00 % Quarz.

Gew.-%	Bas. 6 Sauerstoffe			Ac	5,8
SiO <sub>2</sub>	53,32	Si	1,922	Jd	15,2
TiO <sub>2</sub>	0,83	Al	0,078	Ti-A	2,4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,53	Al	0,203	Tsch	3,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,98	Ti	0,025	Hd	7,7
FeO	2,30	Fe <sup>+3</sup>	0,061	Di	56,1
MnO	0,04	Fe <sup>+2</sup>	0,078	En	9,3
MgO	11,19	Mn	0,001		
CaO	18,56	Mg	0,680		
Na <sub>2</sub> O	2,70	Ca	0,724		
K <sub>2</sub> O	0,09	Na	0,214		
H <sub>2</sub> O+	0,63	K	0,005		
<hr/>					
100,17					
		Ca	47,4	Z	= 2,000
		Mg	39,9	Y + X + W	= 1,991
		Σ Fe	12,7	Σ e	= +0,017

Tabelle 13

Hornblende in Hornblende-Pyroxen-Granat-Zoisit-Schiefer aus Mischgestein,  
Fundpunkt Lenzbauer, Analytiker F. BOSSERT.

		Basis 13 Kationen				
		der 4- und 6-Koordination				
Gew.-%						
SiO <sub>2</sub>	47,98	Si	6,857	8,00		
TiO <sub>2</sub>	0,62	Al	1,143			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,52	Al	0,628	5,00	daraus folgt	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,05	Ti	0,067			
FeO	4,31	Fe <sup>+3</sup>	0,328			OH 1,370
MnO	0,04	Fe <sup>+2</sup>	0,515			O 22,630
MgO	16,24	Mn	0,005	2,70		
CaO	12,96	Mg	3,457			
Na <sub>2</sub> O	2,45	Ca	1,983			
K <sub>2</sub> O	0,22	Na	0,678			
H <sub>2</sub> O+	2,14	K	0,039			
<hr/>						
100,53						

### Zusammenfassung

Der untersuchte Gabbro und das Mischgestein bestehend aus gabbroidem Anteil und Hornblende-Pyroxen-Granat-Zoisit-Schiefer vom Fundpunkt Lenzbauer haben weitgehend dieselbe chemische Zusammensetzung; sie sind im Magmentyp pyroxengabbroid. Überraschenderweise sind die beiden Anteile des Mischgesteines chemisch praktisch gleich, d. h. innerhalb der üblichen Analysenfehlergrenze übereinstimmend. Für ein so kleines Volumen (20 × 20 × 20 cm) besteht während einer Metamorphose bei den vorauszusetzenden Druck- und Temperaturverhältnissen keine Möglichkeit, daß die beiden Teile verschiedenen p- und T-Bedingungen unterworfen waren.

Man kann zur Erklärung, die in Einzelarbeiten von GREEN & RINGWOOD z. B. 1966, 1967 a, 1967 b bzw. GREEN 1967 enthaltenen Ergebnisse heranziehen, vgl. auch HERITSCH 1966 b. Dabei ist eine chemische Zusammensetzung auszuwählen, die möglichst der Zusammensetzung des gabbroiden Gesteins vom Lenzbauer entspricht. Eine vollkommene Übereinstimmung mit den von GREEN & RINGWOOD verwendeten basaltischen Gesteinen ist nicht gegeben, jedoch paßt noch verhältnismäßig gut bei GREEN 1967 der high-alumina basalt und am besten der kyanite eclogite. Damit ist die Kombination Klinopyroxen + Plagioklas ± Orthopyroxen, d. h. die Zusammensetzung des Gabbros vom Lenzbauer stabil bis Temperaturen von 1000 °—1200 ° C unter Drucken von etwa 10—12 kb, wobei der Druck von der chemischen Zusammensetzung und der Temperatur abhängt. Bei höheren Drucken ist die Kombination Klinopyroxen + Plagioklas + Granat stabil. Diese Grenze scheint bei den Mischgesteinen vom Lenzbauer erreicht zu sein, da sich ja ein aluminiumreicher Pyroxen und ein pyropreicher Granat gebildet haben. Die Schwierigkeit in der Erklärung ergibt aber das Auftreten von Hornblende und Zoisit. Hiezu kann mit allem Vorbehalt folgendes angenommen werden: Das Gestein lag an der Grenze der Umwandlung von Klinopyroxen und Plagioklas in Granat und Klinopyroxen und Plagioklas. In diese Umwandlung griff dann der Zutritt von Wasser ein und bildete aus Plagioklasmaterial den Zoisit und aus Pyroxenmaterial teilweise die Hornblende.

Weitere Untersuchungen, die schon im Gange sind, werden hier den Reaktionsmechanismus noch zu klären haben. Dazu muß aber noch mehr über die Variationsbreite der Gesteine und ihrer Komponenten bekannt sein.

Auf alle Fälle hat der vorliegende Fall in dem Sinn allgemeine Bedeutung für die Fazieslehre, daß dieselbe chemische Zusammensetzung unter denselben p- und T-Bedingungen verschieden zusammengesetzte Mineralphasen liefern kann, hier offenbar unter dem Einfluß von Wasser, das möglicherweise den Reaktionsablauf beschleunigt und auch in den Ablauf der Reaktion eingreift.

### Literatur

- BAMBAUER H. U., CORLETT M., EBERHARD E. & VISWANATHAN K. 1967. Diagrams for the determination of plagioclases using X-ray powder methods. Schweizer Min. Petr. Mitt., 47:333.
- BURRI C. 1959. Petrochemische Berechnungsmethoden auf äquivalenter Grundlage. BIRKHÄUSER, Basel.
- COLEMAN R. G., LEE D. E., BEATTY L. B. & BRANNOCK W. W. 1965. Eclogites and eclogites etc. Bull. Geol. Soc. Am., 76:483.
- DEER W. A., HOWIE R. A. & ZUSSMAN J. 1963. Rock-forming Minerals 2. LONGMANS, London.
- ESSENE E. J. & FYFE W. S. 1967. Omphacite in Californian metamorphic rocks. Contr. Min. Petrol., 15:1.
- GREEN T. H. 1967. An experimental investigation of subsolidus assemblages formed at high pressure in high-alumina basalt, kyanite eclogite and grosspydite compositions. Contr. Min. Petrol., 16:84.
- GREEN D. H. & RINGWOOD A. E. 1967 a. An experimental investigation of the gabbro to eclogite transformation and its petrological applications. Geochim. Cosmochim. Acta, 31:767.
- GREEN D. H. & RINGWOOD A. E. 1967 b. The genesis of basaltic magmas. Contr. Min. Petrol., 15:103.

- HERITSCH H. 1965. Vorbericht über Untersuchungen an Eklogiten der Koralpe. Anzeiger math.-naturwiss. Kl. Österr. Akad. Wiss. :313.
- HERITSCH H. 1966 a. Die chemische Zusammensetzung eines Pyroxenes und eines Amphiboles aus einem eklogitischen Gestein von Gressenberg, Südliche Koralpe, Steiermark. Anzeiger math.-naturwiss. Kl. Österr. Akad. Wiss. :93.
- HERITSCH H. 1966 b. Pyroxene mit Entmischungslamellen in gabbroartigen Gesteinen des steirischen Randgebirges. Anzeiger math.-naturwiss. Kl. Österr. Akad. Wiss. :136.
- HERITSCH H. 1966 c. Bericht über Untersuchungen an eklogitischen Gesteinen der Koralpe. Anzeiger math.-naturwiss. Kl. Österr. Akad. Wiss. :268.
- HERITSCH H. & KÄHLER E. 1960. Strukturuntersuchung an zwei Kluftkarinthinen. TSCHERMAKS Min. Petr. Mitt., dritte Folge, 7:218.
- HERITSCH H. & WITTMANN R. 1969. Chemische Analysen von eklogitischen Gesteinen des Fundpunktes Hohl, bei Eibiswald, Koralpe, Steiermark. Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, 99:
- HESS H. H. 1949. Chemical composition and optical properties of common clinopyroxenes. Am. Min., 34:621.
- HUCKENHOLZ H. G. 1964. Der petrogenetische Werdegang der Klinopyroxene in den tertiären Vulkaniten der Hoheifel, I. Beitr. Min. Petr., 11:138.
- KIESLINGER A. 1928. Geologie und Petrographie der Koralpe VII, Eklogite und Amphibolite. Sitz. Berichte, Akad. Wiss. Wien, math.-naturwiss. Kl., Abt. I: 137:401.
- MACHATSCHKI K. & WALITZI E. M. 1962. Hornblendens aus Eklogiten und Amphiboliten der südlichen Koralpe. TSCHERMAKS Min. Petr. Mitt., dritte Folge, 8:140.
- OOSTEROM M. G. 1963. The ultramafites and layered gabbro sequences in the granulite facies rocks on Stjernøy (Finnmark, Norway). Leidse Geol. Mededel., 28:177.
- RINGWOOD A. E. & GREEN D. H. 1966. An experimental investigation of the gabbro-eclogite transformation etc. Tectonophysics, 3:383.
- SLEMMONS D. B. 1962. Observation on order-disorder relations of natural plagioclase. Norsk Geolog. Tidsskr., 42:533.
- TRÖGER W. E. 1935. Spezielle Petrographie der Eruptivgesteine. Deutsche Min. Ges., Berlin.
- TRÖGER E. 1959. Die Granatgruppe: Beziehungen zwischen Mineralchemismus und Gesteinsart. N. Jb. Min. Abh., 93:1.
- VOGEL D. E. & WARNAARS F. W. 1967. Meta-olivine gabbro from Cabo Ortegale (N. W. Spain): a case of incipient eclogitization? N. Jb. Min. Monatsh.: 110.
- WEBER A. 1941. Gabbro und Gabbroabkömmlinge von der Koralpe (Steiermark). Zentralbl. Min. Geol. Pal., Abt. A.: 209.
- WIESENER H. 1935. Beiträge zur Kenntnis der ostalpinen Eklogite. TSCHERMAKS Min. Petr. Mitt., 46:174.
- WINKLER A. 1966. Die Verbreitung der eklogitischen Gesteine von Gressenberg bei Schwanberg, Weststeiermark. Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, 96:112.

Anschrift der Verfasser: Univ.-Prof. Dr. Haymo HERITSCH und  
Dr. Frank BOSSERT,  
Universität Graz, Institut für Mineralogie  
und Petrographie, A-8010 G r a z.