

Aus dem Institut für Mineralogie-Kristallographie und Petrologie der  
Universität Graz

## Die Anwendung des Granat-Biotit-Geothermometers auf einige pelitische Metamorphite der Koralpe, Steiermark

Von Haymo HERITSCH und Froud HAYDARI

Mit 5 Abbildungen und 5 Tabellen (im Text)

Eingelangt am 5. 2. 1980

Inhalt: Aus fünf Gneisen bzw. Glimmerschiefern wird das Paar Granat und Biotit abgetrennt und nach naßchemischer Analyse werden die kristallchemischen Formeln bestimmt. Die Verteilung von Mg und Fe wird durch Bildung von  $Mg/(Mg + Fe + Mn)$  für Granat und Biotit nach dem Diagramm von PERCHUK 1967 zur Temperaturbestimmung ausgewertet. Dabei wird für die sehr großen Kerne der Granatkristalle in Übereinstimmung mit schon bekannten Temperaturbedingungen für Gesteine der Koralpe ein Temperaturbereich von 600—650° C gefunden. Durch Elektronenstrahlmikroanalysen kann gezeigt werden, daß die chemischen Veränderungen eines sehr dünnen Randes von Granatkörnern eine Abkühlungsphase widerspiegeln. Die Anwendung von Diagrammen mit dem Wert  $\ln[(Mg/Fe)_{\text{Granat}} / (Mg/Fe)_{\text{Biotit}}]$  wird diskutiert.

Im Zuge von Untersuchungen an pelitischen Metamorphiten der Koralpe (HERITSCH 1964, 1965, 1978; PLATEN & HÖLLER 1966; PACHER 1977; RIEPL 1978; PACHER & RIEPL 1978) hat RIEPL 1978:80 ff. auf einen Gneis aus der Soboti versuchsweise das Granat-Biotit-Geothermometer nach PERCHUK 1967 und TRACY 1978 angewendet und für die Bildungsbedingungen dieses Gesteines Temperaturbedingungen gefunden, die mit den schon bekannten Temperaturbestimmungen gut übereinstimmen, vlg. z. B. die Zusammenstellung bei HERITSCH 1978:25. Der Gedanke, solche Untersuchungen auch an weiteren Gesteinen der Koralpe durchzuführen, lag nahe. Als größte Schwierigkeit bei der tatsächlichen Durchführung erwies es sich, besonders wegen der meist sehr kleinen Korngrößen, geeignete pelitische Gesteine zu finden, die eine genügend exakte Abtrennung von Granat und Biotit gestatten. Es war nämlich beabsichtigt, in naßchemischen Analysen auch FeO und  $Fe_2O_3$  zu trennen, was wohl bei Biotit, nicht aber bei Granat gelang; auch sollte in Biotit der Wassergehalt bestimmt werden.

Aus vielen Versuchen blieben schließlich nur vier Fundpunkte übrig, wozu noch die Ergebnisse von RIEPL 1978 und PACHER & RIEPL 1978:52 treten. Die Fundpunkte der fünf pelitischen Gesteine, an denen das Granat-Biotit-Geothermometer angewendet wurde, sind in der Kartenskizze der



Abb. 1:

In der geographischen Skizze der südlichen Koralpe sind die Fundpunkte der pelitischen Metamorphe eingetragen, auf die das Granat-Biotit-Geothermometer angewendet wurde. Die Nummern sind Arbeitsnummern der Aufsammlung und durchgehend in dieser Arbeit verwendet.

Abb. 1 eingetragen; die Nummern sind die Arbeitsnummern der Aufsammlung. Die Lage der Fundpunkte ist nach der Österreichischen Karte 1:50.000 folgendermaßen zu beschreiben:

- Nr. 42 Bundesstraße St. Oswald — Sobothen, bei Soißnigg, Steiermark, Blatt 206 Eibiswald
- Nr. 43 Bundesstraße bei Sobothen Ort, östlich Rajok, Steiermark, Blatt 206 Eibiswald
- Nr. 72a nördlich St. Vinzenz, abseits der Sobothen Bundesstraße, Kärnten, Blatt 205 St. Paul im Lavanttal
- Nr. 87 Osthang des Stoffkogels, Kammgebiet der Koralpe, südlich der Hebalpe, Steiermark, Blatt 189 Deutschlandsberg
- Nr. 93 Fraßbach, westlich St. Gertraud bei Wolfsberg, Kärnten, Blatt 188 Wolfsberg

## Abtrennung und chemische Analysen von Granat und Biotit (Bearbeitet von F. HAYDARI)

Als aussichtsreich für eine möglichst gute Abtrennung sind als Voraussetzung zu nennen: entsprechende Korngröße, die bei Zerkleinerung die Verwachsungen in erträglichen Grenzen hält, und möglichst wenig Einschlüsse. Die Siebfaktion 0,2 bis 0,6 mm erfüllte bei den hier untersuchten Beispielen diese Bedingungen. Mit dem Frantz Isodynamic Magnetseparatator war es leicht möglich, eine Granatanreicherung und Biotit von den übrigen Mineralien abzuscheiden, jedoch gelang es mit dieser Methode nicht, Granat und Biotit voneinander zu trennen. Sichtung durch freien Fall in Luft und Abrollen über eine schiefe rauhe Unterlage ließen jedoch sehr reines Biotitmaterial gewinnen. Bei Granat sind aber durch Einschlüsse der Reinheitsgrad von vornherein Grenzen gesetzt; dazu kommen dann noch die bekannten Schwierigkeiten bei der FeO-Bestimmung (schwere Aufschließbarkeit und eventuell Veränderung dieses Wertes durch Pulvern). Beide Schwierigkeiten treten ganz allgemein bei Granat auf, vgl. DEER et al. 1962:80, HERITSCH 1973:229, PACHER & RIEPL 1978. Es ist jedoch für Durchschnittswerte die naßchemische Analyse vorzuziehen. MÖRTL 1977 hat unter der Voraussetzung, daß nach Verrechnung von Spessartin und Pyrop nur mehr Grossular, Almandin und Andradit zu bilden ist, ein Berechnungsverfahren entwickelt, das auch hier verwendet wurde.

Die Tab. 1a) enthält die chemischen Analysen des abgetrennten Granatmaterials und in der Tab. 2a) erfolgte die Berechnung der kristallchemischen Formeln und der Granatglieder von den Atomsorten aus, die in den Endgliedern enthalten sind. Dabei bleiben Quarz und Rutil übrig, und der FeO-Wert muß entsprechend korrigiert werden.

Die Werte der Tab. 1b) sind nach Abzug von Einschlüssen (Quarz, Rutil, Biotit, Feldspat und eventuell Apatit) und Berechnung des Oxydationswertes von Eisen gewonnen. Aus diesen Werten sind in Tab. 2b) die kristallchemischen Formeln und die Granatendglieder berechnet. Außerdem enthält die Tab. 2 für beide Annahmen jene Werte, die nach PERCHUK 1967 bzw. THOMPSON 1976 zur Anwendung des Granat-Biotit-Geothermometers benötigt werden. Die beiden Annahmen ändern das Bild der Zusammensetzung der Granate nicht wesentlich.

Die Granate sind almandinreich, jedoch fällt ein sehr hoher Pyrop- und Grossulargehalt auf. Nach der Zusammenstellung z. B. bei SOBOLEV 1964 oder MÜLLER & SCHNEIDER 1971 sind in pelitischen Metamorphiten im allgemeinen geringere Mengen von CaO und MgO zu erwarten. Vielleicht kann hier auch auf die Beobachtung von MÜLLER & SCHNEIDER 1971:187 hingewiesen werden, daß nämlich mit steigendem Metamorphosengrad eine Zunahme des Ca- und Mg-Gehaltes bei Granat in metamorphen Peliten eintritt.

Die beobachteten Gitterkonstanten, Brechungsquotienten und Dichten sind in der Tab. 3 den berechneten Werten gegenübergestellt. Die Abweichungen entsprechen dem üblichen Ausmaß.

Das Analysengut von Biotit war so rein, daß die chemischen Analysen der Tab. 4a) direkt mit der Basis 24 Sauerstoffatome auf die kristallchemischen Formeln der Tab. 4b) umgerechnet werden können. Benutzt man das Diagramm  $Mg - Fe^{2+} - R^{3+}$  nach TROCHIM 1966, zitiert bei TRÖGER 1971:107, so fallen die fünf Biotitanalysen in das Meroxenfeld.

Tab. 1:

Chemische Analysen von Granat aus Gneisen der Koralpe; Fundpunkte in Abb. 1; die Werte für Nr. 43 sind RIEPL 1978 entnommen: a) Granatfraktion ohne jede Korrektur, b) korrigiert auf FeO und Einschlüsse von Quarz, Rutil, Biotit und Feldspat.

a)

	42	43	72a	87	93
SiO	43,29	39,84	39,64	38,05	38,12
TiO <sub>2</sub>	1,05	1,41	0,76	1,34	1,20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,83	18,87	20,26	19,36	19,73
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,67	12,05	7,76	6,37	10,01
FeO	16,31	17,04	19,20	20,68	17,80
MnO	0,89	1,20	0,28	0,65	0,77
MgO	3,74	4,25	3,71	4,48	4,87
CaO	7,13	5,18	6,99	6,76	7,10
Na <sub>2</sub> O	0,97	0,13	0,58	0,18	0,10
K <sub>2</sub> O	0,58	0,20	0,31	0,25	0,40
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,03	0,10	—	0,03	—
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	—	—	0,01	—	—
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	1,82	0,12	0,89	2,27	0,62
Summe	100,31	100,39	100,39	100,42	100,72

b) Korrigiert auf Verunreinigung und FeO-Wert

	42	43	72a	87	93
SiO <sub>2</sub>	37,91	37,80	37,99	38,05	38,07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,24	20,37	21,33	20,65	20,58
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,89	1,59	0,26	1,36	1,49
FeO	26,07	29,02	28,68	27,38	26,90
MnO	1,15	1,33	0,31	0,72	0,83
MgO	3,55	4,32	3,57	4,45	4,49
CaO	9,19	5,57	7,86	7,39	7,64

Tab. 2:

Kristallchemische Formeln, Endglieder und Werte nach PERCHUK 1967 und z. B. THOMPSON 1976 von Granat aus Gneisen der Koralpe; Fundpunkte in Abb. 1; a) zur Berechnung sind die Analysen von Tab. 1a) auf FeO und Einschlüsse von Quarz und Rutil korrigiert, b) die Berechnung benützt die auf FeO sowie auf Einschlüsse von Quarz, Rutil, Biotit und Feldspat korrigierten Analysenwerte der Tab. 1b).

a)

	42	43	72a	87	93
Si	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	1,96	1,90	2,00	1,92	1,90
Fe <sup>3+</sup>	0,04	0,10	—	0,08	0,10
Fe <sup>2+</sup>	1,70	1,90	1,87	1,78	1,73
Mn	0,07	0,09	0,02	0,05	0,05
Mg	0,52	0,54	0,47	0,56	0,59
Ca	0,71	0,47	0,64	0,61	0,62

Alm.	56,6	63,2	62,3	59,4	57,8
Pyr.	17,3	18,0	15,7	18,7	19,7
Gross.	21,7	11,0	21,3	16,4	15,6
And.	2,1	4,9	—	3,9	5,1
Spess.	2,3	2,9	0,7	1,6	1,8
Mg/(Mg + Fe + Mn)	0,22	0,21	0,20	0,23	0,24
Mg/Fe	0,30	0,27	0,25	0,30	0,32
b)					
Si	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	1,89	1,90	1,98	1,92	1,91
Fe <sup>3+</sup>	0,11	0,10	0,02	0,08	0,09
Fe <sup>2+</sup>	1,72	1,93	1,89	1,81	1,77
Mn	0,08	0,09	0,02	0,05	0,05
Mg	0,42	0,51	0,42	0,52	0,53
Ca	0,78	0,47	0,67	0,62	0,65
Alm.	57,5	64,2	63,1	60,2	59,1
Pyr.	14,0	17,0	14,0	17,4	17,6
Gross.	20,3	11,1	21,4	16,7	17,1
And.	5,6	4,8	0,8	4,1	4,4
Spess.	2,6	2,9	0,7	1,6	1,8
Mg/(Mg + Fe + Mn)	0,18	0,20	0,18	0,21	0,22
Mg/Fe	0,23	0,25	0,22	0,27	0,28

Tab. 3:

Einige physikalische Daten von Granat aus Gneisen der Koralpe; Fundpunkte in Abb. 1; die Werte für Nr. 43 sind RIEPL 1978 entnommen.

	42	43	72a	87	93
a <sub>beob.</sub> [Å]	11,598(8)	11,577(2)	11,593(7)	11,590(7)	11,585(6)
a <sub>ber.</sub> [Å]	11,615	11,578	11,589	11,591	11,594
n <sub>beob.</sub>	1,796	1,796	1,794	1,792	1,796
n <sub>ber.</sub>	1,796	1,801	1,792	1,795	1,795
d <sub>beob.</sub> [g.cm <sup>-3</sup> ]	4,03	3,96	4,03	3,99	3,91
d <sub>ber.</sub> [g.cm <sup>-3</sup> ]	4,029	4,078	4,044	4,036	4,031

Tab. 4:

Biotit aus Gneisen der Koralpe; Fundpunkte in Abb. 1; Chemische Analysen, Werte nach PERCHUK 1967 und z. B. THOMPSON 1976 (a), kristallchemische Formeln (b) und mittlerer Brechungsquotient  $(n\beta + n\gamma)/2$  (c).

a)

	42	43	72a	87	93
SiO <sub>2</sub>	37,46	38,12	37,20	37,36	37,05
TiO <sub>2</sub>	2,10	1,81	1,98	1,72	2,08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,38	17,41	17,68	17,89	17,35
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,29	4,56	3,61	3,00	3,86
FeO	15,52	13,03	14,94	15,73	15,08
MnO	0,06	0,14	0,16	0,14	0,16
MgO	10,88	11,40	11,51	11,22	11,22
CaO	0,32	0,18	0,20	0,10	0,42
Na <sub>2</sub> O	0,43	1,10	0,24	0,23	0,63
K <sub>2</sub> O	8,38	8,77	7,99	8,01	7,99
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	—	—	—	—	—
H <sub>2</sub> O—	0,04	0,01	0,11	0,29	0,09
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	3,83	3,47	3,91	3,82	3,42
Summe	99,69	100,00	99,53	99,51	99,35
Mg/(Mg + Fe + Mn)	0,52	0,54	0,53	0,52	0,52
Mg/Fe	1,10	1,19	1,13	1,09	1,08

b) Basis 24 Sauerstoffe

	42	43	72a	87	93
Si	5,575 2,425	8,00 2,329	5,671 2,329	8,00 2,458	5,542 2,414
Al	0,799	0,724	0,647	0,740	0,663
Ti	0,235	0,202	0,222	0,193	0,235
Fe <sup>3+</sup>	0,256	0,512	0,405	0,338	0,438
Fe <sup>2+</sup>	1,931	5,64 1,621	5,61 1,861	5,71 1,967	5,76 1,900
Mn	0,007	0,018	0,021	0,018	0,021
Mg	2,413	2,528	2,557	2,501	2,520
Ca	0,051	0,029	0,032	0,016	0,068
Na	0,123	1,76	0,316 2,01	0,070 1,62	0,066 1,61
K	1,591	1,665	1,518	1,527	1,535
OH	3,803	3,80	3,443	3,44	3,885
			3,89	3,809	3,81
				3,436	3,44

c)

$$\frac{n\beta + n\gamma}{2}$$

42	43	72a	87	93
1,634	1,623	1,643	1,635	1,642

Das stimmt auch mit dem optischen Befund von  $(n\beta + n\gamma)/2$  und dem Achsenwinkel (fast einachsig) nach dem Diagramm der Glimmerfamilie nach TRÖGER 1962 und TROCHIM 1969, zitiert bei TRÖGER 1971:106, überein. Die vorliegenden fünf Biotite sind daher als Meroxene zu bezeichnen. Biotite der Meroxenzusammensetzung sind in Glimmergneisen durchaus häufig, vgl. z. B. SCHWANDER et al. 1962.

### Mikrosondenuntersuchungen (Bearbeitet von H. HERTISCH)

Von besonderen Interessen ist die Frage der Zonarität von Granat, vlg. TRACY 1978. Es wurde angenommen, daß eine stärkere zonare Änderung des Fe-Gehaltes bei Biotit die Farbe des Pleochroismus deutlich verändern müßte, was aber nicht beobachtet werden kann. Deshalb wurden vor allem die Granate aus den hier untersuchten fünf Fundpunkten mit Hilfe von Line-scanning für die Elemente Fe und Ca, aber auch mit Hilfe der Elektronenstrahlmikroanalyse an ausgewählten Stellen untersucht. Das Ergebnis war, daß fast alle untersuchten Granate höchstens eine kaum merkbare Zonarität aufweisen. Das Beispiel mit der stärksten Zonarität ist in Abb. 2 wiedergegeben. Hier bemerkt man ein kleines Ansteigen der Kurve für Fe und ebenso ein geringes Absinken der Kurve für Ca ganz am Rand beim Line-scanning. Nimmt man für die Hauptmenge, d. h. für den großen Kern, eine durchschnittliche chemische Zusammensetzung der Tab. 1 an, so läßt sich die Änderung für den Rand aus Elektronenstrahlmikroanalysen in der Mitte des Kernes und an den in Abb. 3 markierten Stellen einfach berechnen. Die Tab. 5 weist das Ergebnis aus. Das Korn hat einen Größtdurchmesser von 0,2 mm, und in einem Randbereich von 0,02 mm ist Zonarität zu beobachten. Trägt man die Werte der Tab. 5 in das Diagramm nach PERCHUK 1967 ein, so erhält man für den Kern etwa  $630^\circ\text{C}$  (volles Quadrat in Abb. 4) und für den Rand etwa  $550^\circ\text{C}$  (nicht ausgefülltes Quadrat in Abb. 4), d. h. Werte, die mit den Ergebnissen von TRACY 1978 vergleichbar sind.

Tab. 5:

Ergebnis von Elektronenstrahlmikroanalysen an dem Granatkorn der Abb. 2 und Abb. 3 aus dem Gneis bei Sobotište, Ort, Nr. 43. Die Elektronenstrahlmikrosondenanalysen sind an den in Abb. 3 mit Ziffern bezeichneten Stellen und in der Mitte des Granatkernes ausgeführt. Temperaturen nach PERCHUK 1967 gegen Biotit der Tab. 4.

	1 (Rand)	2	3	4	Mitte des Kernes
MgO	2,9	3,0	4,1	4,1	4,1
CaO	5,8	6,9	7,5	7,5	7,5
FeO	31,8	31,0	28,7	28,7	28,7
Mg/(Mg + Fe)	0,14 $550^\circ\text{C}$	0,15 $560^\circ\text{C}$	0,20 $630^\circ\text{C}$	0,20 $630^\circ\text{C}$	0,20 $630^\circ\text{C}$

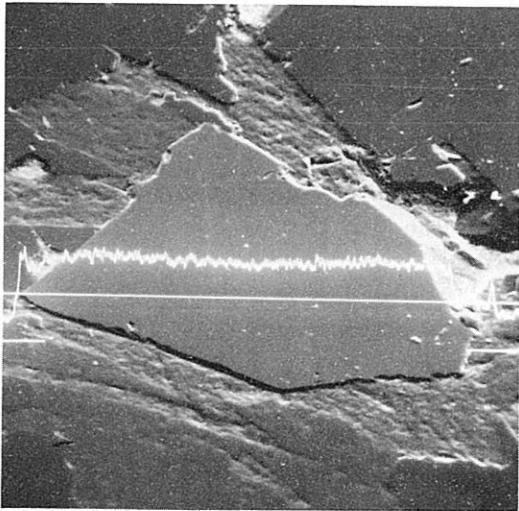
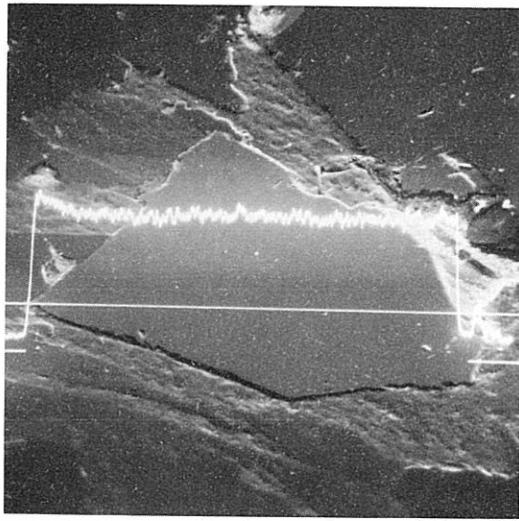


Abb. 2:

Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines Granatkornes aus Gneis von Soboth Ort, Nr. 43 vgl. Abb. 1. Größter Durchmesser des Kernes ist 0,2 mm.

- a) Line-scanning für Fe, leichtes Anheben der Kurve gegen den Rand.
- b) Line-scanning für Ca, leichtes Absinken der Kurve gegen den Rand.

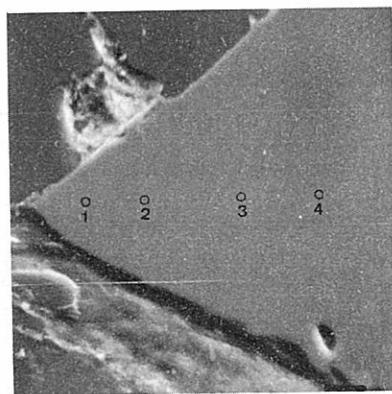


Abb. 3:

Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme: Vergrößerte Darstellung der linken Ecke des Granatkernes der Abb. 2 zur Bezeichnung der Stellen 1, 2, 3 und 4, an denen Elektronenstrahlmikroanalysen ausgeführt wurden, deren Ergebnis in Tab. 5 ausgewiesen ist. Die Entfernung von Stelle 1 bis Stelle 4 ist 0,037 mm.

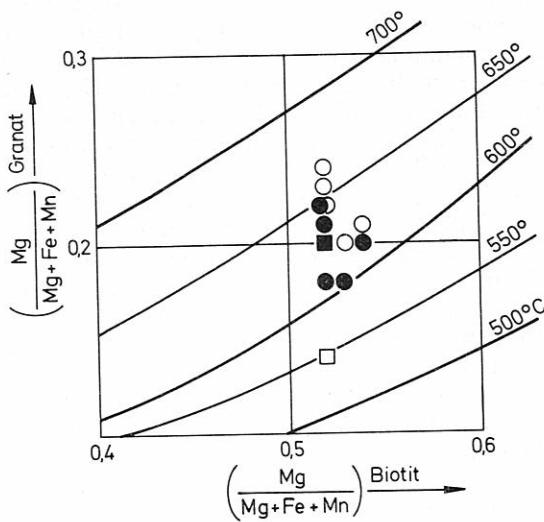


Abb. 4:

Ausschnitt aus dem Diagramm nach PERCHUK 1967 zur Bestimmung der Bildungstemperaturen aus koexistierendem Granat und Biotit in pelitischen Metamorphiten der Koralpe. Die Werte aus Tab. 2a (Ringe) bzw. Tab. 2b (ausgefüllte Kreise), für Biotit der Tab. 4 entnommen. Für den zonaren Granat der Abb. 2 und Abb. 3 gibt das ausgefüllte Quadrat die Bildungstemperatur des Kernes, das nicht ausgefüllte Quadrat die niedrigste Bildungstemperatur der dünnen Randzone an, Zahlenwerte in Tab. 5.

Eine solche Anwendung des Granat-Biotit-Geothermometers auf zonare Granate ist natürlich nur unter den Bedingungen möglich, die schon TRACY 1978:158 anführt: selbstverständlich steht strenggenommen nur der Rand des zonaren Granatkernes im chemischen Gleichgewicht mit dem Rest des Gesteines. Aus der Tatsache, daß aber der homogene innere Kern sehr groß und der chemisch veränderte Rand sehr klein ist, kann geschlossen werden, daß der Granat am Höhepunkt der Metamorphose homogenisiert wurde und der dünne Rand die Neueinstellung auf ein Gleichgewicht bei Abkühlung widerspiegelt. Dazu kommt noch, daß in den vorliegenden Gneisen die Granate meist eine sehr geringe bis kaum bemerkbare Zonarität erkennen lassen. Zum Vergleich können auch die Ergebnisse von ACKERMANN & MORTEANI 1976:126—127 an Granat penninischer Gesteine der Zillertaler Alpen herangezogen werden: Die Zonarität ist bei Granat der Grünschieferfazies größer als am Granat der Amphibolitfazies, d. h., höhere Metamorphose bedingt geringere Zonarität. Die Gneise der Koralpe sind durch hohe Metamorphose geprägt, vgl. die Zusammenstellung bei HERITSCH 1978, 1980.

### Temperaturbestimmung

In der Abb. 4 sind die Werte  $Mg/(Mg + Fe + Mn)$  für Granat und Biotit in das Diagramm von PERCHUK 1967 eingetragen. Wegen der Einschlüsse in Granat konnte reines Analysengut nicht gewonnen werden, so daß es notwendig war, Beimengungen von Fremdmaterial bei der Berechnung der kristallchemischen Formeln zu berücksichtigen. Dies ist ein in zwei verschiedenen Annahmen a) und b) in der Tab. 1 und der Tab. 2 geschehen. Daher waren auch in Tab. 2 zwei verschiedene Sätze von  $Mg/(Mg + Fe + Mn)$  zu berechnen. Die Werte der Annahme a) sind durch Ringe, die der Annahme b) durch ausgefüllte Kreise in Abb. 4 dargestellt. Jede Annahme für sich gibt die durchaus zu erwartenden kleinen Streuungen. Folgende ungefähre Temperaturbereiche können abgelesen werden, Annahme a)  $625—670^\circ C$  und Annahme b)  $600—650^\circ C$ . Diese Ergebnisse sind mit schon bekannten Temperaturbestimmungen aus dem Bereich der Koralpe in Einklang zu bringen, vor allem mit den Anatexis-Experimenten an Plattengneisen von PLATEN & HÖLLER 1966; danach sind die Temperaturen der Anatexis bei 4 kb  $670^\circ C$ , bei 7 kb  $650^\circ C$  und bei 10 kb  $645^\circ C$ . Die Anatexis wurde aber in der Natur bei Plattengneisen (oder anderen Gneisen und Glimmerschiefern) nicht erreicht. Daher zeigen die nach Annahme a) berechneten Granatzusammensetzungen zu hohe Temperaturen an, während die nach Annahme b) berechneten Granatzusammensetzungen Temperaturen liefern, die mit entsprechenden Bestimmungen an Koralpengesteinen übereinstimmen, vgl. die Zusammenstellung bei HERITSCH 1978, 1980.

FERRY & SPEAR 1978:115 bringen ein Diagramm, in das  $\ln K = [(Mg/Fe)_{\text{Granat}} / (Mg/Fe)_{\text{Biotit}}]$  gegen die Temperatur aufgetragen ist, und vergleichen ihre eigenen experimentellen Untersuchungen mit den Ergebnissen von THOMPSON 1976 und GOLDMAN & ALBEE 1977. In der Abb. 5,

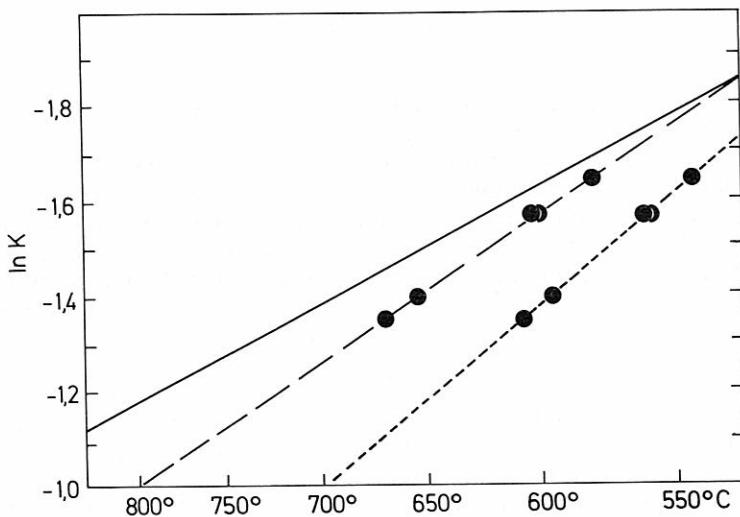


Abb. 5:

Diagramm nach FERRY & SPEAR 1978 zur Bestimmung der Bildungstemperaturen aus koexistierendem Granat und Biotit in pelitischen Metamorphiten der Koralpe aus  $\ln K = \ln[(\text{Mg}/\text{Fe})_{\text{Granat}}/(\text{Mg}/\text{Fe})_{\text{Biotit}}]$ . Ausgezogene Gerade nach FERRY & SPEAR 1978, gestrichelte Gerade nach THOMPSON 1976, punktierte Gerade nach GOLDMAN & ALBEE 1977. Ausgefüllte Kreise Werte für Granat aus Tab. 2 b und für Biotit aus Tab. 4.

die nach diesem Diagramm entworfen ist, sind die  $\ln K$  für die vorliegenden Paare Granat und Biotit, aber nur mehr in der Berechnung nach Annahme b) eingetragen. Nach den Ausführungen von FERRY & SPEAR 1978:117 kann ihre Gerade nicht ohne weiteres brauchbare Resultate liefern, da für Granat der Grenzwert  $(\text{Ca} + \text{Mn})/(\text{Ca} + \text{Mn} + \text{Fe} + \text{Mg}) = 0,2$ , mit Ausnahme von Nr. 43 mit 0,18, wesentlich überschritten wird. Auch der Grenzwert für Biotit mit  $(\text{Al}^{VI} + \text{Ti})/(\text{Al}^{VI} + \text{Ti} + \text{Fe} + \text{Mg})$  wird in allen Fällen überschritten. Daher könnten Temperaturen abgelesen werden, die  $700^\circ\text{C}$  überschreiten und die zur Anatexis führen müssen. Die Gerade nach THOMPSON 1976 liefert einen Temperaturbereich von  $580$ – $670^\circ\text{C}$ , wobei der obere Wert von  $670^\circ\text{C}$  ebenfalls schon zu nahe an der Anatexis liegt bzw. die Temperatur der Anatexis überschreitet. Die aus der Geraden nach GOLDMAN & ALBEE 1977 abgeleiteten Temperaturen im Bereich von etwa  $540$ – $605^\circ\text{C}$  sind im Vergleich zu den auf andere Weise bestimmten Temperaturen aus der Koralpe relativ niedrig, fügen sich aber in den Rahmen ein.

Die zum Vergleich herangezogenen Untersuchungen mit dem Granat-Biotit-Geothermometer sind an Ca-armen Granaten durchgeführt (vgl. z. B. auch TRACY 1978). Daher kann man wegen der aus anderen Untersuchungen bekannten Temperaturbereiche der Metamorphose der Koralpengesteine umgekehrt folgendes vorschlagen: ein Geothermometer für das Paar Ca-reicher Granat—Biotit der Gneise der Koralpe wird am besten repräsentiert durch eine Gerade, die zwischen den Geraden von THOMPSON 1976 und GOLDMAN & ALBEE 1977 liegt.

## Zusammenfassung

Die Anwendung des Granat-Biotit-Geothermometers auf die vorliegenden pelitischen Metamorphite der Koralpe nach PERCHUK 1967 führt zu Temperaturbereichen für den Höhepunkt der Metamorphose, an dem der Kern der Granate gebildet wurde, mit  $600\text{--}650^\circ\text{C}$ . Dies steht in Übereinstimmung mit sonstigen Temperaturangaben, die anderweitig an Gesteinen der Koralpe gewonnen wurden, HERITSCH 1978, 1980. Es scheint wichtig zu sein, daß PERCHUK 1967: Tab. 1 seine Ergebnisse auch auf Ca-reiche Granate anwendet, da ja die vorliegenden Granate ebenfalls Ca-reich sind.

FERRY & SPEAR 1978:117 geben für den (Ca + Mn)-Gehalt des Granates und den (Al<sup>IV</sup> + Ti)-Gehalt des Biotites Grenzen an, über die ihr Diagramm nicht mehr verwendet werden kann. Diese Grenzwerte werden mit Ausnahme eines Falles überschritten, weshalb die Gerade nach FERRY & SPEAR 1978 hier nicht zu verwenden ist. Auch das Diagramm nach THOMPSON 1976 liefert etwas zu hohe Werte, und die gute Brauchbarkeit bei TRACY 1978 beruht wohl auf dem geringen Ca-Gehalt dieser Granate. Aus den bekannten Temperaturbereichen der Metamorphose pelitischer Gesteine der Koralpe kann man wohl schließen, daß hier eine Gerade zwischen den Geraden von THOMPSON 1976 und GOLDMAN & ALBEE 1977 als Geothermometer verwendet werden kann.

Die Zonarität eines schmalen Randes, die an einigen Granatkörnern der hier beschriebenen pelitischen Metamorphite beobachtet werden kann, ist das Ergebnis einer Abkühlungsphase.

Zur Ausführung der Arbeit standen uns die Mittel des Institutes für Mineralogie-Kristallographie und Petrologie der Universität Graz zur Verfügung. Für die Ausführung einer Kontrollanalyse hat einer von uns (F. H.) Herrn Dr. Th. Teich zu danken. Ferner gilt der Dank des anderen von uns (H. H.) Herrn Dr. P. Golob, Zentrum für Elektronenmikroskopie in Graz (Leitung Hofrat Dr. F. Grasenick), für die Betreuung der Herstellung der rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen mit Line-scanning und Elektronenstrahlmikroanalysen.

## Literatur

- ACKERMANN D. & MORTEANI G. 1976. Kontinuierlicher und diskontinuierlicher Zonarbau in den Granaten der penninischen Gesteine der Zillertaler Alpen (Tirol/Österreich). — *Tschermaks Min. Petr. Mitt.*, 23:117-136.
- DEER W. A., HOWIE R. A. & ZUSSMAN J. 1962. Rock-Forming Minerals, Vol. 1, Ortho- and Ring Silicates. — Longmans, London.
- FERRY J. M. & SPEAR F. S. 1978. Experimental Calibration of the Partitioning of Fe and Mg Between Biotite and Garnet. — *Contr. Miner. Petrol.*, 66:113-117.
- GOLDMAN D. S. & ALBEE A. L. 1977. Correlation of Mg/Fe Partitioning between Garnet and Biotite with  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  Partitioning between Quarz and Magnetite. — *Amer. J. Sci.*, 277:750 bis 767.

- HERITSCH H. 1964. Vorbericht über Untersuchungen am Stainzer Plattengneis, Weststeiermark. — Anz. Österr. Akad. Wiss. Wien, math.-naturwiss. Klasse, 317—318.
- 1965. Kurzbericht über Untersuchungen von Ordnungszuständen an Feldspäten aus dem Bereich der östlichen Ostalpen. — Anz. Österr. Akad. Wiss. Wien, math.-naturwiss. Klasse, 135—138.
  - 1972. Die Bildungsbedingungen von alpinotypem Eklogitamphibolit und Metagabbro, erläutert an Gesteinen der Koralpe, Steiermark. — Tschermaks Min. Petr. Mitt., 19:213 bis 271.
  - 1978. Die Metamorphose des Schiefergneis-Glimmerschiefer-Komplexes der Koralpe, Steiermark. — Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, 108:19—30.
  - 1980. Ein perthitisch entmischter Alkalifeldspat aus dem Plattengneis der Koralpe, Steiermark. — Mitt.-Bl. Abt. Miner. Landesmus. Joanneum 48/1980.
- MÖRTL J. 1979. Petrologische Untersuchungen an Kristallinen Schiefern der südlichen Koralpe (Kärnten/Steiermark). — Dissertation Universität Graz.
- MÜLLER G. & SCHNEIDER A. 1971. Chemistry and Genesis of Garnets in Metamorphic Rocks. — Contr. Mineral. Petrol., 31:178—200.
- PACHER F. 1977. Petrologische Untersuchungen an einigen Plattengneisen der Koralpe (Steiermark). — Dissertation Universität Graz.
- PACHER F. & RIEPL K. 1978. Über die chemische Zusammensetzung von Gneisen und Glimmerschiefern der Koralpe, Steiermark. — Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, 108:45 bis 54.
- PERCHUK L. L. 1967. The Biotite-Garnet Geothermometer. — Doklady Akad. Nauk SSSR. Vol. 177:411—414.
- PLATEN H. v. & HÖLLER H. 1966. Experimentelle Anatexis des Stainzer Plattengneises von der Koralpe, Steiermark, bei 2, 4, 7, und 10 kb  $H_2O$ -Druck. — N. Jb. Miner. Abh., 106:106 bis 130.
- RIEPL K. 1978. Petrologische Untersuchungen an einigen Gneisen der südlichen Koralpe (Steiermark). — Dissertation Universität Graz.
- SCHWANDER H., HUNZIKER J. & STERN W. 1968. Zur Mineralchemie von Hellglimmern in den Tessiner Alpen. — Schweizer Min. Petr. Mitt., 48:357—390.
- SOBOLEV I. W. 1964. Paragenetičeskij Tipij Granatov. — Akademija Nauk SSSR, Sibir. Odt., Institut Geol. i Geophys., Moskau.
- THOMPSON A. B. 1976. Mineral Reactions in Pelitic Rocks: II. Calculation of some P-T-X(Fe-Mg) Phase Relations. — Amer. J. Sci., 276:425—454.
- TRACY R. J. 1978. High Grade Metamorphic Reactions and Partial Melting in Pelitic Schist, West-Central Massachusetts. — Amer. J. Sci., 278:150—178.
- TRÖGER W. E. 1971. Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale. Teil 1, Bestimmungstabellen. 4., neubearbeitete Auflage von H. U. BAMBAUER, F. TABORSKY & H. D. TROCHIM. — E. Schweizerbart, Stuttgart.

#### Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr. Haymo HERITSCH und Froud HAYDARI, Institut für Mineralogie-Kristallographie und Petrologie der Universität Graz, Universitätsplatz 2, A-8010 Graz.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mitteilungen der Abteilung für Mineralogie am Landesmuseum Joanneum](#)

Jahr/Year: 1980

Band/Volume: [48](#)

Autor(en)/Author(s): Heritsch Haymo, Haydari Froud

Artikel/Article: [Die Anwendung des Granat-Biotit-Geothermometers auf einige pelitische Metamorphite der Koralpe, Steiermark 1-13](#)