

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

Entstehung und Bildungsbedingungen Grossular enthaltender Gesteine der Koralpe

Von Haymo HERITSCH

Mit 3 Tabellen und 3 Abbildungen (im Text)

Eingegangen am 31. Jänner 1979

Inhalt: Zumindest für die regionale Thermo- und Dynamometamorphose in der Koralpe muß im A-C-F-H₂O-Dreieck (HERITSCH 1973, 1974) ein Projektionspunkt für Anorthit eingeführt werden, so daß ein Grossular-Diopsid-Anorthit-Zoisit-Tetraeder entsteht, in das die zehn chemischen Analysen Grossular enthaltender Gesteine (Tab. 1 und 2) fallen. Als Ausgangsmaterial kann Mergel angenommen werden, die Bildungsbedingungen lagen maximal bei etwa 5 kb und 650° C.

YODER & TILLEY 1962 haben ein Diagramm $Al_2O_3 - CaO - FeO + MgO$ veröffentlicht, das dem in Abb. 1 wiedergegebenen A-C-F-Diagramm etwa entspricht. Dieses Diagramm ermöglicht die Phasen für gewöhnlichen Eklogit, Cyaniteklogit und Hyperstheneklogit aus dem Pauschalchemismus darzustellen.

Die Untersuchungen von HERITSCH 1963, 1973, 1974, 1978 a, b ergaben folgendes: Der Versuch, das Diagramm von YODER & TILLEY 1962 auf entsprechende Gesteine der Koralpe anzuwenden, machte es notwendig, dieses Diagramm auf ein Tetraeder mit der Spitze H₂O zu erweitern und somit die wasserhaltigen Phasen Zoisit (bzw. Klinozoisit) und Amphibol einzubeziehen, vgl. Abb. 1 und 2. Dabei konnte gezeigt werden, daß zweifellos geringe Spuren von Wasser notwendig sind, um überhaupt eine Reaktion einzuleiten.

Für rechts der Verbindungslinie Cyanit-Diopsid liegende Zusammensetzungen gilt folgendes: Erhalten gebliebene Gabbros (Signatur: kleine Kreise in Abb. 1) zeigen, daß die Druck- und Temperaturbedingungen nicht hinreichten, um in trockener Metamorphose Eklogit zu erzeugen. Dabei müßte das Endprodukt in der Grundlebene A-C-F verbleiben und vorwiegend Cyanit führende Eklogite liefern. Unter Wasserzutritt steigen dann diese Gesteinszusammensetzungen in das Teiltetraeder Diopsid-Almandin + Pyrop-Cyanit-Zoisit auf (vgl. Abb. 2), wodurch Metagabbros (Signatur: kleine Kreise mit Punkt in Abb. 1) entstehen. In den beobachtbaren Grenzzonen zwischen Gabbro und Metagabbro laufen daneben – offenbar unter dem Einfluß von Wasser als Katalysator – auch einige trockene Reaktionen ab, die zur Bildung von Spinell, Hypersthen und auch von Granat führen, sowie den Einbau von Jadeit in Klinopyroxen ermöglichen. Durch noch weitere Wasserzufuhr wird das Teiltetraeder Diopsid-Almandin + Pyrop-Cyanit-Zoisit verlassen, und die Zusammensetzung tritt in das Teiltetraeder Diopsid-Almandin + Pyrop-Hornblende-Zoisit ein (HERITSCH 1973, 1974), wodurch ein Hornblende und Zoisit führender Eklogit (Eklogitamphibolit, vgl. HERITSCH 1974:82) entsteht; Signatur: Punkt in Abb. 1.

Von besonderem Interesse sind aber Zusammensetzungen, die links von der Verbindungslinie Cyanit-Diopsid liegen, da die Beziehungen von Anorthit, Grossular, Diopsid und Zoisit damit festgelegt werden können. Keine Entscheidung hierüber brachten die schon länger bekannten Beispiele von Metagabbro des Fundpunktes Hohl

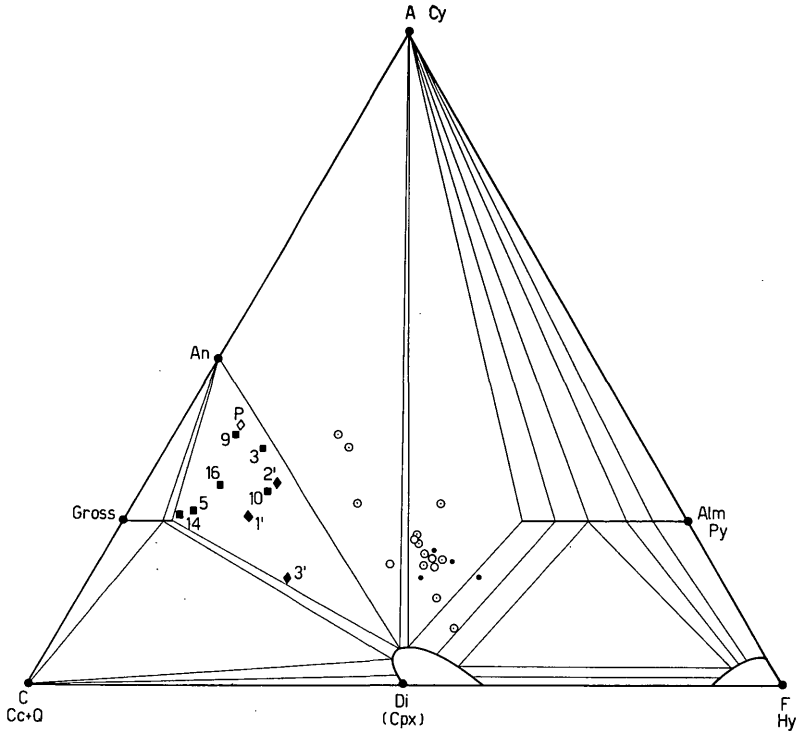


Abb. 1: Diagramm A-C-F (nach YODER & TILLEY 1962). Es bedeuten: Cc – Calcit, Cpx – Klinopyroxen, Di – Diopsid, Hy – Hypersthen, Alm – Almadin, Py – Pyrop, Cy – Cyanit; für Gesteine der Koralpe bedeuten: kleine Kreise – Gabbro, kleiner Kreis mit Punkt – Metagabbro, Punkt – Eklogitamphibolit (chemische Analysen in HERITSCH 1973, 1978b); die zehn in Tab. 1 und 2 ausgewiesenen chemischen Analysen Grossular enthaltender Gesteine sind mit ihren Zahlen dargestellt: ausgefüllte Quadrate – Fundpunkt Fuchs, Rhombus – Fundpunkt Pfeiferstocker, ausgefüllter Rhombus – Fundpunkt Kasperlekogel.

(HERITSCH 1974) mit der Signatur: Kreis mit Punkt in Abb. 1, denn eine trockene Metamorphose liegt nicht vor, und unter Wasserzufuhr treten diese Beispiele ebenfalls in das schon erwähnte Teiltetraeder Diopsid-Almandin + Pyrop-Cyanit-Zoisit ein, vgl. Abb. 2. Deshalb blieb dieser Teil der Tetraederdarstellung zunächst unklar und wurde in HERITSCH 1973 und 1974 verschieden angenommen.

Nachdem Grossular als Mineralfund in der Koralpe festgestellt war (WEISSENSTEINER 1970, 1975) und POSTL 1976 von solchem Material eine chemische Analyse und physikalische Daten über Grossular veröffentlicht hatte, war es möglich, die Grossular enthaltenden Gesteine und ihr Verhalten im A-C-F-H₂O-Tetraeder zu untersuchen. Ein Vorbericht hierüber ist ebenfalls erschienen (HERITSCH 1978).

Die Tabelle 1 bringt zehn chemische Analysen von Grossular enthaltenden Gesteinen der Fundpunkte Fuchs, südlich Glashütten (POSTL 1976), südlich Pfeiferstocker und Kasperlekogel; alle Fundpunkte liegen im Bereich der Weinebenestraße, westlich Deutschlandsberg (vgl. Österreichische Karte, Blatt 188, Wolfsberg). Die Projektionswerte A, C, F aller Analysen fallen in das Dreieck Grossular-Anorthit-Diopsid bzw. in das Teiltetraeder Grossular-Anorthit-Diopsid-Zoisit. Damit ist zumindest für den Be-

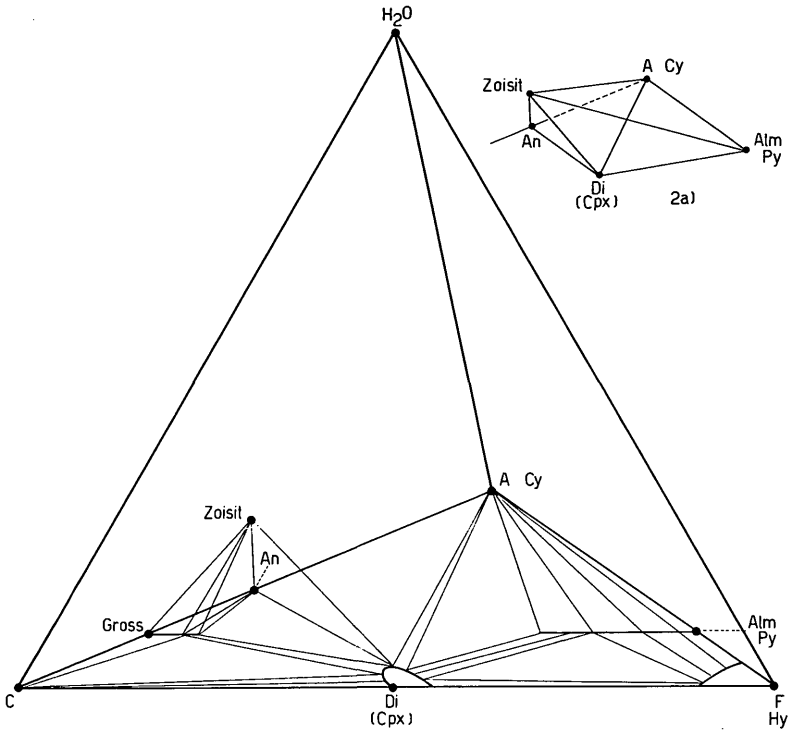


Abb. 2: Darstellung des A-C-F-H₂O-Tetraeders (HERITSCH 1973, 1974). Bezeichnungen wie in Abb. 1. Gesteine gabbroider Zusammensetzungen liegen in der Projektion hauptsächlich im Bereich Di - Alm + Py - Cy und steigen bei Wasserzutritt in das Teiltetraeder Cy - Di - Alm + Py - Zoisit (getrennt dargestellt in 2a) auf und werden damit zu Metagabbro. In dasselbe Teiltetraeder sind auch die drei im Bereich An - Di - Cy liegenden Metagabbros durch Wasserzutritt aufgestiegen. Die zehn chemischen Analysen der Tab. 1 liegen im Teiltetraeder Gross - Di - An - Zoisit und zeigen auch die entsprechenden Mineralbestände der Tab. 2.

reich der Koralpenmetamorphose das Diagramm von YODER & TILLEY 1962 in der Weise zu modifizieren, daß eine Verbindungslinie Anorthit-Diopsid zu ziehen ist, vgl. Abb. 1 und 2.

Die berechneten Mineralbestände der Tab. 2 berücksichtigen eine chemische Zusammensetzung des Grossulars nach POSTL 1976 mit:

Grossular	83,8
Andradit	7,8
Almandin	8,3
Spessartin	0,1

was auf Grund der beobachteten Gitterkonstanten und Berechnungsquotienten (vgl. Tab. 2) berechtigt ist. Plagioklas mit $n\beta = 1,580$ ist auch nach Messungen mit dem U-Tisch Anorthit mit An₉₀ - An₁₀₀. Verbreitet tritt Periklinverzwillingung auf, aber auch Zwillinge nach dem Albitgesetz kommen vor. Alkalifeldspat mit etwa Ab₅₀ erscheint im Fundpunkt südlich Pfeiferstocker zwischen den Plagioklaskristallen, aber auch in Form unregelmäßig begrenzter Einschlüsse im Plagioklas. In den Proben, die vom Fundpunkt

Tab. 1: Chemische Analysen von Grossular enthaltenden Gesteinen der Koralpe.

	Südlich Glashütten bei Fuchs						Südlich Pfeifer- stocker	Kasperlekogel		
	3	5	9	10	14	16		1'	2'	3'
SiO ₂	48,79	53,41	57,95	55,81	43,37	52,80	45,77	53,72	56,03	54,97
TiO ₂	0,65	0,50	0,55	0,68	0,63	0,73	0,32	0,74	0,49	0,90
Al ₂ O ₃	22,26	15,20	17,12	16,71	17,40	16,36	27,79	15,22	17,11	9,38
Fe ₂ O ₃	3,61	3,70	3,95	2,66	5,77	4,43	1,41	3,23	2,16	3,08
FeO	1,97	0,79	1,29	2,62	0,60	1,40	1,65	2,95	3,45	4,53
MnO	0,20	0,12	0,08	0,20	0,28	0,16	0,12	0,28	0,32	0,28
MgO	2,36	1,32	0,69	2,21	1,28	1,53	1,16	2,15	2,00	4,01
CaO	18,84	23,86	15,52	18,37	29,56	20,65	18,88	20,85	17,18	21,08
Na ₂ O	0,35	0,00	0,14	0,19	0,07	0,12	0,75	0,10	0,14	0,27
K ₂ O	0,21	0,00	0,04	0,10	0,03	0,03	0,87	0,29	0,05	0,55
P ₂ O ₅	0,14	0,00	0,34	0,03	0,00	0,22	0,04	0,17	0,11	0,22
Glv.	1,05	0,51	2,17	0,81	1,44	1,73	1,41	1,12	0,76	0,78
H ₂ O—	0,05	0,07	0,17	0,21	0,08	0,14	0,29	0,02	0,01	0,06
	100,48	99,48	100,01	100,60	100,51	100,30	100,46	100,84	99,81	100,11

Tab. 2: Aus den chemischen Analysen berechnete Mineralbestände Grossular enthaltender Gesteine der Koralpe sowie Angaben über Gitterkonstanten und Brechungsquotienten des Grossulars.

	Südlich Glashütten bei Fuchs						Südlich Pfeifer- stocker	Kasperlekogel		
	3	5	9	10	14	16		1'	2'	3'
Granat	12,0	57,7	7,6	24,9	80,8	32,0	11,0	34,4	8,7	35,6
Plagioklas	48,1	—	—	27,6	—	—	61,7	—	—	—
Zoisit	8,5	11,1	46,4	5,5	4,2	29,7	9,8	23,2	44,8	3,6
Diopsid	12,8	7,2	3,8	11,9	7,0	8,3	6,3	11,5	10,7	30,6
Quarz	11,8	22,1	34,8	24,3	5,2	23,7	2,6	22,0	27,5	18,9
Titanit	1,3	1,2	1,4	1,7	1,6	1,8	0,8	1,8	1,2	2,2
Apatit	0,3	—	0,8	0,1	—	0,5	0,1	0,4	0,3	0,5
Erz	5,2	0,7	5,2	4,0	1,2	4,0	2,5	4,2	5,3	3,0
Calcit	—	—	—	—	×	—	—	—	—	—
Alkali- feldspat	—	—	—	—	—	—	5,2	2,5	1,5	5,6
Granat a [Å]	11,839	11,849	n. b.	11,844	11,843	11,838	11,837	11,844	11,846	11,842
Stand. dev. 0,005										
Granat n	1,740	1,741	1,743	1,741	1,740	1,740	1,741	1,742	1,740	1,741

Kasperlekegel untersucht wurden, fehlt jedoch Plagioklas, und der Alkalifeldspat bildet selbständige Körner zwischen den anderen Gemengteilen. Klinopyroxen ist als Diopsid, gelegentlich mit etwas FeO-Gehalt gerechnet. Für die Paragenese wichtig ist, daß in einem Beispiel (Fuchs 14) Calcit, wenn auch in untergeordneter Menge, zu beobachten ist. Die meisten Stücke sind löcherig, so daß angenommen werden kann, daß ursprünglich vorhandener Calcit durch Verwitterungsvorgänge herausgelöst worden ist. Im Fundpunkt Pfeiferstocker ist bemerkenswert, daß Graphit in Lagen auftritt.

Die berechneten Mineralbestände stimmen mit den beobachteten überein. Allerdings können die Projektionspunkte der molaren Darstellung im Teiltetraeder Grossular-Diopsid-Anorthit-Zoisit (vgl. Abb. 1 und 2) die gewichtsprozentischen Mineralbestände nicht quantitativ wiedergeben. Jedoch ist einiges zu erkennen. Bei den zoisitarmen Gesteinen, die nahe der Grundfläche Grossular-Diopsid-Anorthit liegen, sind die Verhältnisse am leichtesten zu überblicken. So enthalten die Proben Fuchs 5 und 14 tatsächlich einen hohen Prozentsatz Grossular-reichen Granat, während Fuchs 3 und südlich Pfeiferstocker ebenfalls entsprechend ihrer Lage in Abb. 1 reichlich Plagioklas führen. Auch Kasperlekegel 3' hat wegen seiner Lage nahe der Verbindungslinie Grossular-Diopsid keinen Plagioklas und in etwa gleichem Verhältnis Diopsid und Grossular-reichen Granat. Fuchs 9 und 16 sowie Kasperlekegel 1' und 2' enthalten reichlich Zoisit, liegen also hoch über der Grundfläche und in der Teiltetraederfläche Grossular-Zoisit-Diopsid. Fuchs 16 kommt überdies nahe an die Verbindungslinie Grossular-Zoisit und enthält wesentlich diese beiden Mineralien, während Fuchs 9 und ähnlich Kasperlekegel 2' nahe der Spitze des Teiltetraeders, die Zoisit repräsentiert, zu liegen kommt. Fuchs 10 liegt nur knapp über der Grundfläche und zeigt Granat, Anorthit und Diopsid; allerdings würde man aus dem Projektionspunkt eine geringere Menge von Granat erwarten.

Zu den Bildungsbedingungen kann (vgl. HERITSCH 1978a) herangezogen werden, daß im System $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O} - \text{CO}_2$ die Paragenese Zoisit + Grossular + Anorthit + Quarz + Calcit (Bezeichnung III bei WINKLER 1976:142) isobar invariant ist und in ihrer P-T-Abhängigkeit von STORRE untersucht und bei WINKLER 1976:142 bekanntgegeben worden ist. Diese Kurve kann nun mit der experimentell untersuchten Kurve der Anatexis der Plattengneise (PLATEN & HÖLLER 1966) in Zusammenhang gebracht werden: Abb. 3. Da die Anatexis in den Plattengneisen nicht erreicht wurde, können die Grossular enthaltenden Gesteine bei höchstens etwas über 5 kb und 650° C metamorphisiert worden sein; selbstverständlich sind auch niederere Drucke und Temperaturen entsprechend der Kurve der Abb. 3 möglich. Dabei muß außerdem der Partialdruck für CO_2 sehr klein gewesen sein, X_{CO_2} unter 0,1, wie aus der Darstel-

Tab. 3: Berechnung des Mittels der chemischen Analysen von Grossular enthaltenden Gesteinen auf wahrscheinliche ursprüngliche Sedimente (Gew.-%).

	a)	b)
Calcit	25,7	23,9
Dolomit	6,9	6,5
Kaolinit	35,9	-
Montmorillonit	-	55,9
Quarz	25,8	8,3
Apatit	0,2	0,2
Rutil	0,5	0,5
Eisenerz	5,0	4,7

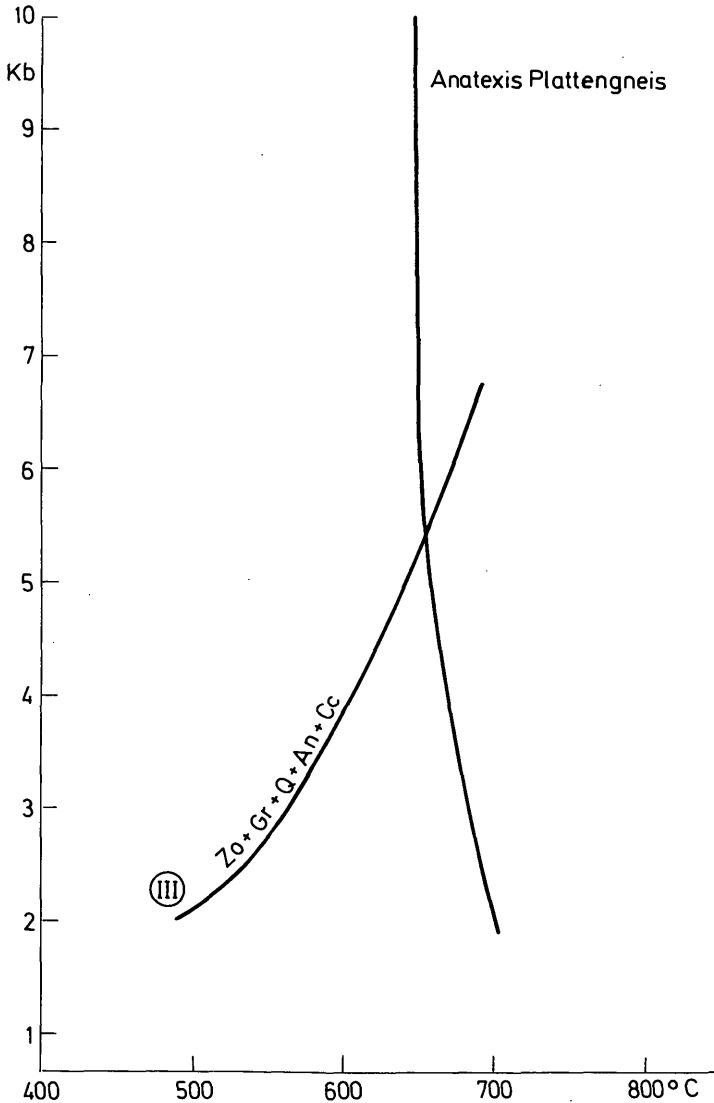


Abb. 3: Der im System $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O} - \text{CO}_2$ isobar invariante Punkt III: Zoisit + Grossular + Quarz + Anorthit + Calcit ist nach WINKLER 1976:142 in seiner P- und T-Abhängigkeit dargestellt. Da die Plattengneise der Koralpe keine Anatexis zeigen, kann die Kurve der experimentell bestimmten Anatexis (PLATEN & HÖLLER 1966) nicht erreicht worden sein. Daraus sind die maximalen Bedingungen der Metamorphose Grossular enthaltender Gesteine der Koralpe mit etwa 5 kb und 650° C gegeben.

lung des Systems $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O} - \text{CO}_2$ bei WINKLER 1976:141 hervorgeht, wobei allerdings von 2 kb auf höhere Drücke zu extrapolieren ist. Bei so niedrigen Partialdrücken von CO_2 kann auch Diopsid durchaus bei Temperaturen unter 600° C gebildet werden (SKIPPEN 1974, WINKLER 1976:121). Hinsichtlich der Bildungsbedin-

gungen ist somit eine sehr gute Vergleichsmöglichkeit mit der Paragenese des Steinbruches Gupper gegeben (HERITSCH 1978c).

Bezüglich des vor der Metamorphose vorliegenden Ausgangsmateriales ist einmal festzustellen, daß an den Fundpunkten Fuchs und Kasperlekogel nur Blöcke auftreten, die nicht anstehen und keine Beziehung zum Nachbargestein erkennen lassen. Jedoch kommen im Fundpunkt Pfeiferstocker, wie schon erwähnt, Graphit führende Proben vor, in denen der Graphit in schwarzen Lagen von oft mehr als ein Zentimeter Mächtigkeit auftritt. Die Verbindung mit Graphit legt eine Beziehung zum sedimentären Zyklus nahe, da ja auch in den Plattengneisen ebenfalls Graphit vertreten ist.

Es scheint daher als Deutung wahrscheinlich, daß ursprünglich ein Mergel vorlag. Eine Berechnung des Mittels der chemischen Analysen aus Tab. 1 zeigt, nach Tabelle 3, daß ein Gemenge von Karbonat (Calcit und etwas Dolomit), Tonsubstanz (als Kaolinot oder Montmorillonit gerechnet) und Quarz vorgelegen haben kann. Nach FÜCHTBAUER & MÜLLER 1977:9 handelt es sich dabei um Sandmergel bzw. Tonmergel oder eine Mischung von beiden; die Graphit führenden Typen von Pfeiferstocker entsprechen bituminösen Mergeln. Man wird also an die Umwandlung von Mergel (vgl. WINKLER 1976:139 ff.) im Rahmen der regionalen Dynamo- und Thermometamorphose der Koralpe denken müssen, wenn auch die Deutung als Reaktionsskarn (vgl. HERITSCH 1978 a) möglich ist; eine Entscheidung können nur Aufschlüsse von anstehendem Material bringen.

Zur Ausführung der vorliegenden Arbeit standen mir die Einrichtungen und Mittel des Institutes für Mineralogie-Kristallographie und Petrologie der Universität Graz zur Verfügung; die chemischen Analysen sind im chemischen Laboratorium desselben Institutes ausgeführt worden.

Literatur

- FÜCHTBAUER H. & MÜLLER G. 1977. Sediment-Petrologie, Teil II, Sedimente und Sedimentgesteine. – 3. Auflage, E. Schweizerbart, Stuttgart.
- HERITSCH H. 1963. Exkursion in das Kristallin der Koralpe. – Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, 93:178–198.
- 1973. Die Bildungsbedingungen von alpinotypem Eklogit amphibolit und Metagabbro, erläutert an Gesteinen der Koralpe, Steiermark. – Tschermarks Min. Petr. Mitt., 19:213–271.
 - 1974. Eine neue Variante des A-C-F-H₂O-Tetraeders, angewendet auf Eklogit amphibolite, Metagabbros und ihre Begleitgesteine aus dem Kristallin der Koralpe, Steiermark. – Tschermarks Min. Petr. Mitt., 21:70–84.
 - 1978a. Bericht über Grossular führende Gesteine der Koralpe, Steiermark. – Anz. Österr. Akad. Wiss. Wien, math.-naturwiss. Kl., 1978 Nr. 2:31–34.
 - 1978b. Ein weiteres Beispiel für den Übergang von Gabbro in Metagabbro auf kürzestem Raum aus der Koralpe, Steiermark. – Anz. Österr. Akad. Wiss. Wien, math.-naturwiss. Kl., 1978 Nr. 5:129–134.
 - 1978c. Regionalmetamorphose eines Marmor-Kalksilikatschiefer-Komplexes unter geringem Partialdruck von CO₂ in der Koralpe, Steiermark. – N. Jb. Miner. Abh., 133:41–52.
- PLATEN H. v. & HÖLLER H. 1966. Experimentelle Anatexis des Stainzer Plattengneises von der Koralpe, Steiermark, bei 2, 4, 7 und 10 Kb H₂O-Druck. – N. Jb. Miner. Abh., 106:106–130.
- POSTL W. 1976. Über einen Grossular aus der Koralpe, Steiermark. – Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark. 106:35–37.

- SKIPPEN G. 1974. An experimental model for low pressure metamorphism of siliceous dolomitic marble. – Amer. J. of Science, 274:487–509.
- WEISSENSTEINER G. 1970. Neue Mineralfunde aus dem Bereich der Kor- und Saualpe, Steiermark und Kärnten. – Der Karinthin, 63:183–186.
- 1975. Hessonit und Vesuvian in der Koralpe. – Die Eisenblüte, Mittbl. Ver. Steir. Mineraliensammler, 1:11–12.
- WINKLER H. G. F. 1976. Petrogenesis of Metamorphic Rocks. – Fourth Edition, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- YODER H. S., Jr. & TILLEY C. E. 1962. Origin of Basalt Magmas: An Experimental Study of Natural and Synthetic Rock Systems. – J. Petrology, 3:342–532.

Anschrift des Verfassers: Prof. Dr. Haymo HERITSCH, Institut für Mineralogie-Kristallographie und Petrologie, Universitätsplatz 2, A-8010 Graz, Österreich.