

KORUND + SPINELL-RELIKTE UND MARGARIT + ZOISIT-NEUBILDUNGEN
IN GRANULITEN AUS DEM DUNKELSTEINER WALD
Projekt S4709

von

Kostas Petrakakis⁺

Einleitung

Im Anschluß an die Arbeiten des Vorjahres ist es gelungen, die Bedingungen der prägenden Metamorphose sowie den post-HT-Weg moldanubischer Gesteine zu charakterisieren. Die untersuchten Gesteine stammen aus dem Dunkelsteiner Wald (Bereich Aggsbachdorf) und sind charnokitische Granulite, die die charakteristische Paragenese Grt + Opx + Bi + Kfs + Plg + Q + Ilm + Ru (Erklärung der verwendeten Abkürzungen in Tab. 1) führen. Von besonderem Interesse sind einerseits die relik-tischen Phasen Korund und grüner Spinell, die häufig in den Granaten eingeschlos-sen sind bzw. im zentralen Bereich von selten auftretenden Schlieren in der Ge-steinsmatrix auftreten und andererseits die Zoisit + Margarit- Neubildungen rund um die relik-tischen Phasen.

Aufgrund der texturellen und paragenetischen Beziehungen innerhalb dieser Proben lassen sich qualitative und/oder quantitative Aussagen über ihre Entwicklung vor, während und nach der prägenden Metamorphose machen.

Paragenetische und textuelle Beziehungen

Die untersuchten Gesteine weisen eine schwache Foliation und einen schwach ausgebildeten, konkordanten Lagenbau auf. Erstere ist durch die Anordnung von Bi und der Lagenbau durch Bi + Opx + Grt- und Qtz + Fsp-Lagen erkennbar. Neben der oben erwähnten Hauptparagenese kommen zusätzlich als Akzessorien Apatit, Zirkon, Orthit und Fe/Zn-Sulfide vor.

Die Matrix der untersuchten Proben ist heterogranular-granoblastisch und führt bis ca. 2 mm große Granatporphyroblasten. Stellenweise sind die Proben durch voll-kommene Rekristallisation charakterisiert, was durch polygonal-äquigranulare Tex-turen, glatte Korngrenzen und Tripelpunkte besonders zwischen Feldspat, Orthopy-roxen und Quarz dokumentiert wird. Seltene Quarz- und Feldspatkristalle treten als

⁺ Dr. Kostas Petrakakis
Institut für Petrologie, Universität Wien
Dr. Karl Lueger-Ring 1, A-1010 Wien

Xenoporphroblasten auf und weisen eine erkennbarere Elongation parallel zur Foliation auf. Der Kalifeldspat tritt häufig auf. Er ist jedoch optisch schwer erkennbar, da er vollkommen xenoblastisch und interstitial zwischen den Plagioklas- und Quarz-Kristallen auftritt. Er konnte nur mit Hilfe der Mikrosonde identifiziert werden. Die Plagioklase und die seltener auftretenden, größeren Alkalifeldspäte sind häufig perthitisch entmischt. Orthopyroxen ist äquigranular, subidioblastisch und typischerweise dispers verteilt. Der Granat weist resorbierte Ränder und variable Größe auf. Bemerkenswert sind die subparallelen Frakturen aller Granat-kristalle, die nicht in die Matrix fortgesetzt werden. Dieses Merkmal weist darauf hin, daß der Granat vor der Rekristallisation der Gesteinsmatrix sowohl gebildet als auch kataklastisch beansprucht wurde. Kontakte zwischen Orthopyroxen und Granat sind selten. Letztere stehen unmittelbar im Kontakt zu Feldspat, Quarz und manchmal Biotit. Ilmenit und Rutil treten sowohl als Einschlüsse im Granat als auch in der Matrix entweder vereinzelt oder miteinander verwachsen auf. Feinschuppiger Biotit ist parallel zur Foliation innerhalb der Feldspat + Quarz-Matrix eingeregelt. Sehr häufig kommt der Biotit rund um Orthopyroxen und manchmal um Granat in Form von größeren, nicht eingeregelten Blasten vor. Klinopyroxen-relikte, sehr arm an Al_2O_3 and Na_2O , treten sehr selten vereinzelt innerhalb der Matrix oder als Einschlüsse in Orthopyroxen auf. Sie weisen gemeinsam mit den weiter unten beschriebenen Relikten von Korund und Spinell auf ein Entwicklungsstadium der Gesteine vor der prägenden Metamorphose hin.

Alm = Almandin	En = Enstatit	Opx = Orthopyroxen
Akf = Alkalifeldspat	Fsp = Feldspat	Phl = Phlogopit
An = Anorthit	Fsl = Ferrosilit	Plg = Plagioklas
aQz = alpha-Quarz	Grs = Grossularit	Prl = Pyrophyllit
Bi = Biotit	Haem = Hämatit	Ps = Pistacit
Cc = Calcit	Grt = Granat	Py = Pyrop
Co = Korund	Ilm = Ilmenit	Rt = Rutil
cZo = Clinozoisit	Kfs = Kalifeldspat	Sp = Spinell
CO ₂ = Kohlendioxid	Ky = Disthen	W = H ₂ O
Dsp = Diaspor	Mrg = Margarit	Zo = Zoisit

Tab. 1: Liste der verwendeten Abkürzungen.

Fast alle größeren Granate innerhalb dieser Proben führen meistens in ihrem Kernbereich Ilmenit- und Spinell-Einschlüsse. Letzterer fällt besonders durch seine grüne Eigenfarbe und vermikulare Ausbildung auf. Solche Granatbereiche sind sehr häufig von feinkristallinen, optisch trüben Aggregaten variabler Größe ersetzt, worin die vermikular ausgebildeten Kristalle von grünem Spinell, als auch von Ilmenit und Hellglimmer erkennbar sind. Die Hauptmasse dieser Aggregate ist allerdings optisch kaum identifizierbar. In den wenigsten Fällen konnten auf optischem Wege innerhalb dieser Aggregate kleine Korundkristalle identifiziert werden. Solche Aggregate kommen sowohl allseitig als auch partiell umrandet vom Granat vor. In einem Fall konnte darüberhinaus das Auftreten von ähnlich aufgebauten und von einer

Hellglimmerkorona umhüllten Schlieren innerhalb der Gesteinsmatrix beobachtet werden.

	Opx- Kern		Plg - Kern		Kfs- Matrix		Blottl- Matrix		Margarit	Ilmenit- Matrix		Granat- Kern	
	n=11	±s	n=19	±s	n=7	±s	n=15	±s	n=2	n=11	±s	n=17	±s
SiO ₂	50.81	0.69	61.14	1.44	64.68	1.79	35.59	0.84	33.08	0.02	0.04	38.49	0.19
TiO ₂	0.13	0.06	0.01	0.02	0.00	0.00	5.60	0.52	0.01	51.75	0.54	0.18	0.08
Al ₂ O ₃	0.82	0.48	24.55	0.80	18.31	0.33	14.43	1.09	49.61	0.00	0.00	22.25	0.31
Cr ₂ O ₃	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.02	0.00	0.00
FeO	30.40	0.63	0.02	0.05	0.02	0.05	19.39	0.72	0.30	46.86	0.58	21.22	0.28
MnO	0.36	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.04	0.00	0.78	0.36	0.38	0.03
MgO	17.14	0.51	0.00	0.00	0.00	0.00	10.54	0.36	0.00	0.00	0.00	3.81	0.17
CaO	0.69	0.09	6.17	0.40	0.00	0.01	0.01	0.02	9.10	0.00	0.00	14.18	0.29
Na ₂ O	0.02	0.03	8.11	0.62	0.68	0.19	0.04	0.05	2.12	0.00	0.00	0.00	0.00
K ₂ O	0.00	0.01	0.48	0.25	15.88	0.26	9.31	0.59	0.71	0.00	0.00	0.00	0.00
Summe	100.28	0.73	100.48	1.15	99.57	1.83	94.96	1.67	95.00	99.20	0.81	100.50	0.53
Formel	4 K / 8 O		8 O		8 O		11 O		11 O	2 K / 3 O		8 K / 12 O	
Si	1.960		Si	2.710		2.999	Si	2.736	2.850	Si	0.000	Si	2.970
Al IV	0.021		Al	1.283		1.001	Al IV	1.264	1.815	Al	0.000	Al IV	0.030
Fe 3+	0.018		Ti	0.000		0.000	Al VI	0.043	2.049	Ti	0.890	Al VI	1.992
Al VI	0.007		Fe	0.001		0.001	Ti	0.324	0.001	Cr	0.000	Cr	0.000
Ti	0.004		Mg	0.000		0.000	Cr	0.000	0.001	Fe 3+	0.009	Ti	0.010
Cr	0.000		Ca	0.293		0.000	Fe	1.247	0.016	Fe 3+	0.009	Fe 3+	0.005
Fe 3+	0.033		Na	0.697		0.061	Mn	0.005	0.000	Al	0.000	Fe 2+	1.364
Mg	0.492		K	0.027		0.940	Mg	1.207	0.003	Fe 2+	0.974	Mn	0.025
Fe 2+	0.464						Ca	0.001	0.644	Mg	0.000	Mg	0.438
Fe 2+	0.464						Na	0.005	0.272	Mn	0.016	Ca	1.172
Mg	0.493						K	0.913	0.060				
Mn	0.012												
Ca	0.028												
Na	0.001												
K	0.000												

Tab. 2: Repräsentative Mikrosondeanalysen der zur Geothermobarometrie verwendeten Phasen; n ist die Anzahl und ±s die Standardabweichung der gemittelten Analysen.

Die intensive mikroanalytische Untersuchung und eine Reihe von Sekundärelektronen- und Rückgestreuten-Elektronen-Bildern solcher Aggregate hat gezeigt, daß Cor+Sp eine reliktsche (in Bezug auf die Hauptmetamorphose) Paragenese darstellt. Diese Minerale sind eng miteinander verwachsen. Der Korund weist allgemein intensive Resorptionserscheinungen auf und ist in den meisten Fällen pseudomorph durch Diaspor ersetzt worden. Die Hauptmasse dieser trüben Aggregate besteht aus Zoisit, der die Cor+Sp-Relikte einschließt. Wichtig ist jedoch, daß idioblastische Margarit + Muskovit-Pakete mit ihm verwachsen sind. Plagioklas tritt äußerst selten auf, entweder in Form von kleinen Xenoblasten variabler Zusammensetzung zwischen 20 und 75 % An oder als Einschlüsse im Spinell (An = 95%). Letztere sind die einzigen reliktschen Kristalle, die mit Mrg + Zo im Gleichgewicht stehen können (FEENSTRA, 1993). Diese Beziehungen weisen darauf hin, daß die neugebildete Assoziation Mrg + Mu + Zo ein durch die Rehydratisierung von

Cor + Sp + Plg retrograd gebildetes Produkt darstellt. Das dafür notwendige Fluid konnte entlang der früh angelegten Frakturen des Granats infiltrieren.

Mineralchemie

Mit Hilfe von knapp 600 Mikrosondeanalysen konnten alle auftretenden Phasen ausreichend charakterisiert werden. Die analytischen Daten bilden die Basis der im nächsten Abschnitt folgenden geothermobarometrischen und phasen-petrologischen Analyse.

Der Granat weist allgemein einen homogenisierten chemischen Aufbau über etwa mehr als 80 % seines Volumens auf. Eine deutliche Zonierung tritt in seinem Randbereich auf, wo Mg und Ca rapide abnehmen und Fe und Mn zunehmen. Ein repräsentatives Profil des Granataufbaues ist in der Abb. 1 wiedergeben. Die in der Tab. 2 angegebene Kernzusammensetzung ist repräsentativ für den gesamten Kernbereich mehrerer Granate. Der Homogenisierungsprozeß dieser Granate widerspiegelt die Bedingungen des HT-Ereignisses.

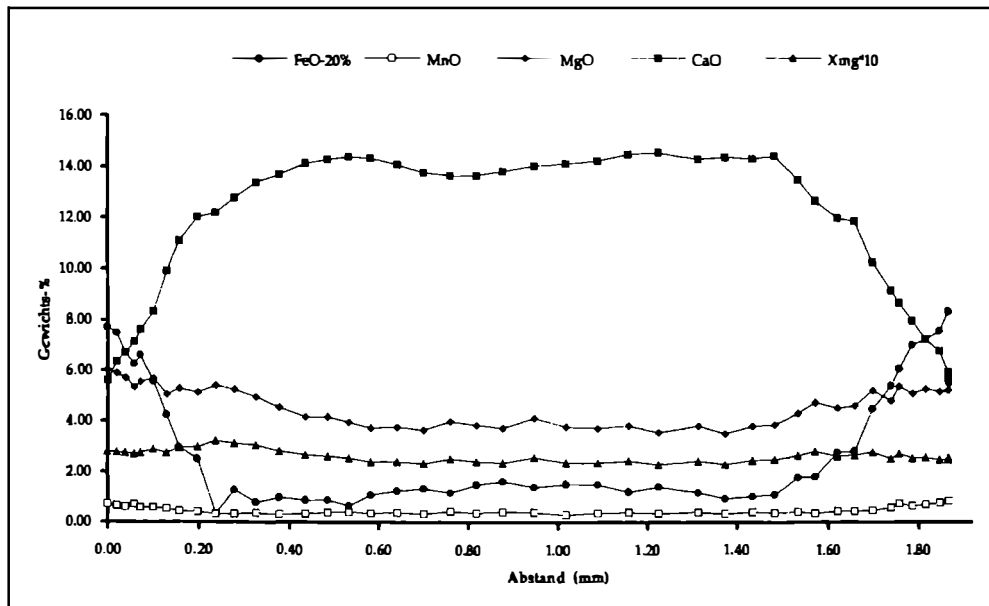


Abb. 1: Repräsentatives Profil durch einen größeren Granat in der Probe 89GR13. Die Symbole bei 2 mm entsprechen der Variation und dem Mittelwert der innerhalb der Aggregate auftretenden Granatrelikte.

Die Biotite sind trotz ihrer textuellen Unterschiede gleichmäßig aufgebaut. Eine repräsentative Analyse ist in der Tab. 2 angegeben.

Die Plagioklase weisen einen inversen Zonarbau auf, welcher optisch durch konzentrische Auslöschung erkennbar wird. Gegenüber dem repräsentativen Kernbereich (Tab. 2) sind die Kristallränder durch Anorthitgehalte von etwa 35% charakterisiert. Die Plg-Einschlüsse im Granat weisen eine ähnliche Zusammensetzung ($X_{an} = 0,39$) auf. Neben den homogen zusammengesetzten Plagioklaskristallen, treten innerhalb der Matrix größere, antiperthitisch entmischte Blasten auf. Sie weisen auf ein Entwicklungsstadium der Gesteine vor der prägenden Metamorphose hin. Der interstitiale Kalifeldspat ist hingegen homogen aufgebaut und seine Zusammensetzung entspricht fast dem reinen Endglied.

Der Orthopyroxen weist gegenüber seinem gleichmäßig aufgebauten Kernbereich (Tab. 2) einen leicht niedrigeren Al_2O_3 -Gehalt ($0,41 \pm 0,38$) und X_{mg} -Wert ($0,48 \pm 0,1$) auf. Die Ilmenite weisen geringe Gehalte an Fe^{3+} (Tab. 2) auf.

Die Abb. 2 zeigt eine bimodale Verteilung der Pistazitkomponente der Epidotminerale innerhalb der Aggregate. Neuere Untersuchungen über die Zusammensetzung koexistierender Zoisite und Klinozoisite (PRUNIER & HEWITT, 1985; ENAMI & BANNO, 1980; FRANZ & SELVERSTONE, 1992) weisen darauf hin, daß aufgrund des sehr niedrigen Fe-Gehaltes (Abb. 2) das in den Aggregaten auftretende Epidotmineral der Zoisit ist. Die bimodale Verteilung des Fe^{3+} ist auf viel spätere Transformationsphänomene im Zuge der Abkühlung und Hebung der Gesteine zurückzuführen.

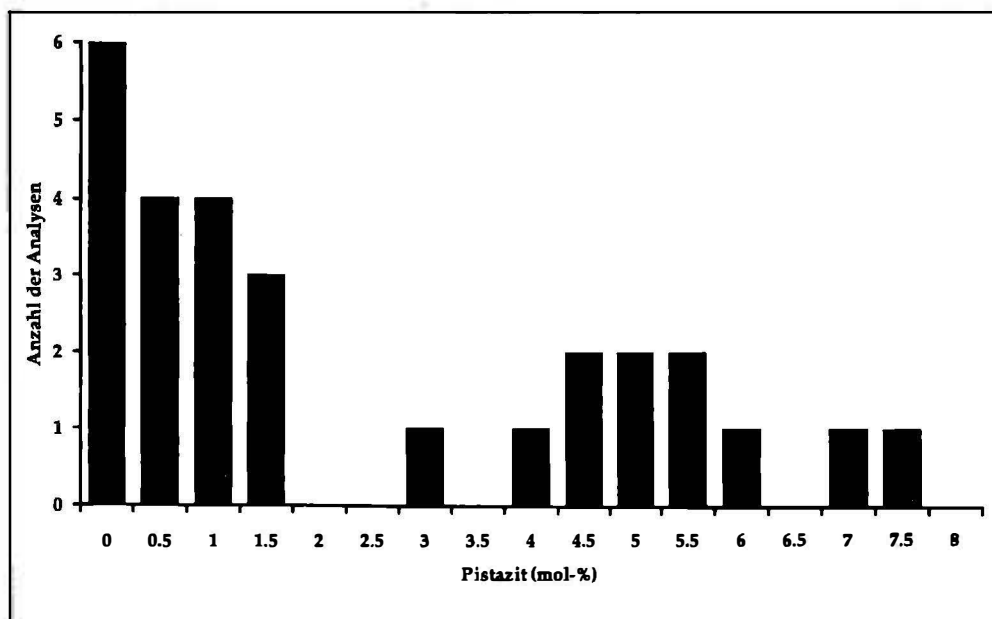
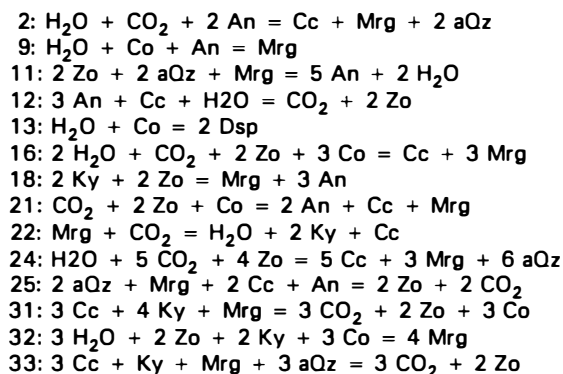


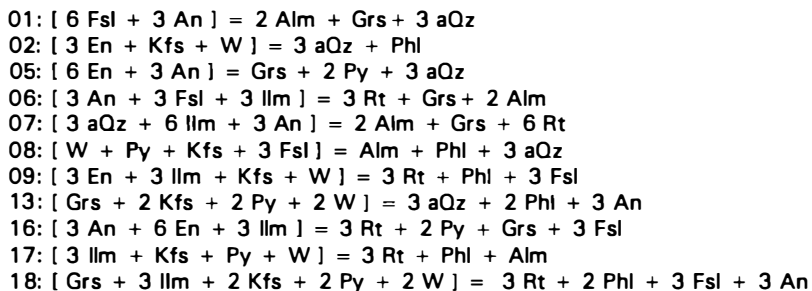
Abb. 2: Bimodale Verteilung der Pistazitkomponente in den Epidotmineralen innerhalb der Aggregate. Vorhandene Literaturdaten weisen darauf hin, daß trotz dieser Verteilung die auftretende Phase nur der Zoisit ist.

Die mit dem Zoisit verwachsenen Hellglimmerpakete stellen Verwachsungen von paragonitführendem Margarit und Muskovit dar. Die durch die Mikrosonde gewonnenen Analysen sind in der Regel Mischanalysen zwischen beiden Hellglimmerphasen. Die Margaritanalyse in Tab. 2 (Mittelwert von zwei Analysen aus einer Gesamtpopulation von 42 Margaritanalysen) führt den niedrigsten K-Gehalt und wird als der am wenigsten "kontaminierte", paragonitführende Margarit betrachtet (PETRAKAKIS & JAWECKI, 1993).

Liste einiger der in den Abb. 5, 6 auftretenden stabilen Reaktionen.



Liste der in den Abb. 3, 4 auftretenden stabilen und metastabilen Reaktionen.



Tab. 3: Liste von verwendeten Reaktionen in den Abb. 3, 4, 5 und 6.

Bemerkenswert sind auch die Granatrelikte, die eng mit Spinell verwachsen innerhalb der Aggregate vorkommen. Ihre chemische Zusammensetzung ähnelt stark der Randzusammensetzung der großen, die Aggregate einschließenden Matrixgranate (Abb. 1). Sie stellen entweder Relikte dieser Matrixgranate, die im Zuge der Aggregatbildung partiell zerfielen oder eine frühe, prä-HT-Phase (Grt_1), die zur Assoziation $\text{Cor} + \text{Sp}$ charakteristischerweise gehört, dar.

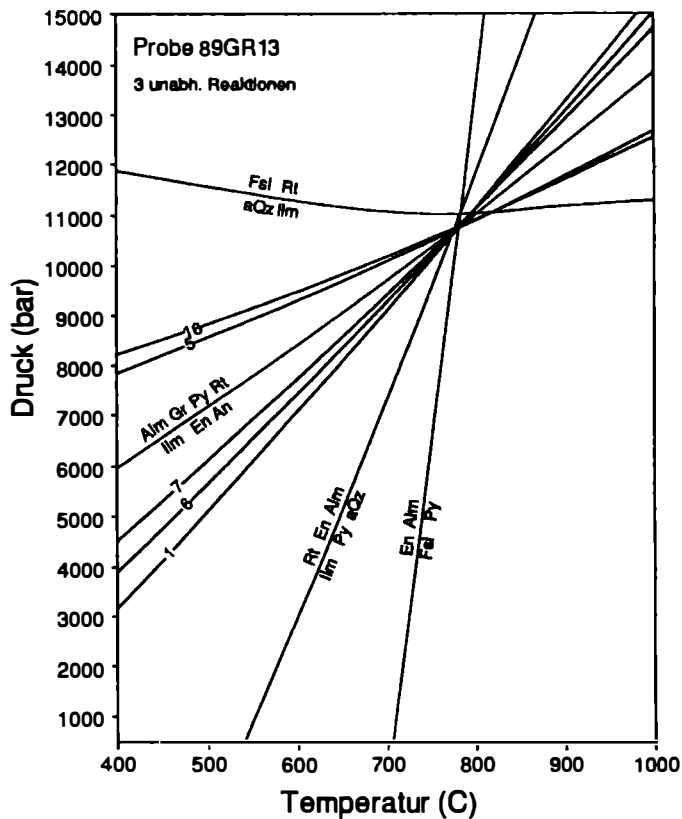


Abb. 3: Berechnung der P,T-Bedingungen für das prägende granulitfazielle Ereignis, welches durch charnokitische Granulite aus dem Dunkelsteiner Wald dokumentiert wird.

Metamorphoseentwicklung

Die untersuchten Proben lassen drei Stadien ihrer metamorphen Entwicklung erkennen:

1. Bildung der reliktschen Paragenese $Cor + Sp \pm Grt_1$, die innerhalb der großen Granate erhalten ist. Dieses Stadium ist älter als die prägende HT-Metamorphose und ist Gegenstand weiterer Untersuchungen. Vorläufige Daten unterstützen die Annahme, daß es sich dabei um ein hochmetamorphes Ereignis handelt, welches durch eine ausgedehnte Anatexis der Gesteine charakterisiert ist.

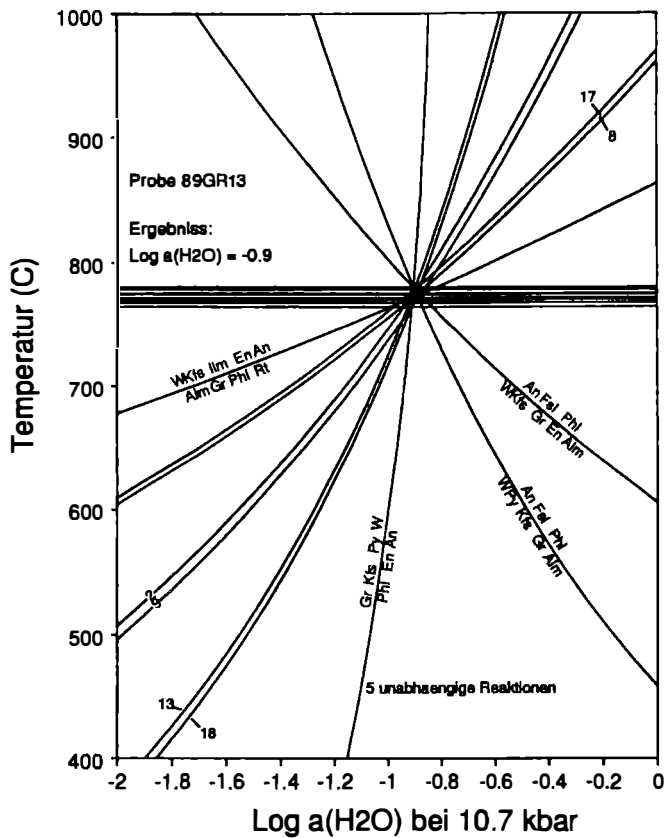


Abb. 4: Abschätzung der vorherrschenden $a_{\text{H}_2\text{O}}$ während der granulitfaziellen Prä- gung von charnokitischen Granuliten aus dem Dunkelsteiner Wald. Der er- mittelte Wert wird aufgrund der bei der Berechnung implizierten Unsicher- heiten nur als indikativ für die sehr geringe $a_{\text{H}_2\text{O}}$ angesehen (PETRAKAKIS & JAWECKI, 1993).

2. Bildung der großen Matrixgranate u.a. auf Kosten der Al-reichen, reli- ktitischen Minerale im Zuge des anschließenden HT-Ereignisses. Aufgrund der vorherrschenden hohen Temperaturen wurden die Granate homogenisiert und vor der Matrixrekristallisation frakturiert. Diese letzte Phase der HT- Rekrystallisation der Gesteine ist typischerweise durch die oben beschrie- benen texturellen und paragenetischen Beziehungen dokumentiert. Die oben beschriebene Randcharakteristik mancher Minerale als auch die fehlenden Kontakte zwischen Granat und Orthopyroxen legen allerdings die Vermutung nahe, daß unmittelbar nach dem Höhepunkt des HT-Ereignisses eine partielle Anpassung der Gesteine an wechselnde Bedingungen (Frühabkühlung und Hebung) erfolgte. Dieser Prozeß erfolgte jedoch derart, daß der ursprüng- liche Chemismus der Minerale, der durch deren ausgedehnten und gleich-

- mäßig aufgebauten inneren Bereich dokumentiert wird, erhalten blieb. Letzterer als auch die textuellen und paragenetischen Beziehungen innerhalb der untersuchten Proben erlauben die Annahme der Erhaltung des Gleichgewichtszustandes als Grundlage zur Anwendung geothermobarometrischer Methoden (BERMAN, 1991; LIEBERMAN & PETRAKAKIS, 1991).
3. Bildung der Aggregate. Dieses Stadium entspricht einem retrograden P,T-Weg, welcher durch die Bedingungen des Erstintretens von Mrg + Zo bis zu den Diasporitisierungsbedingungen der Korundrelikte verfolgbar ist.

Die Bildungsbedingungen der beiden letzten Stadien lassen sich mit Hilfe der vorhandenen Daten quantitativ ermitteln. Die Abbildungen 3 und 4 geben die abgeschätzten P,T, a_{H_2O} -Bedingungen für das prägende, granulit-fazielle Ereignis wider. Sie beruhen auf den Daten der Tab. 2 und wurden mit den in BERMAN (1991) und LIEBERMAN & PETRAKAKIS (1991) beschriebenen Methoden berechnet. Die P,T, a_{H_2O} -Bedingungen entsprechen 10,7 kbar, 770 °C und ca. 0,1.

Die Bildungsbedingungen der Aggregate entsprechen andererseits den höchsten Bedingungen für die stabile Koexistenz von Margarit + Zoisit. Sie können mit Hilfe des Systems CaO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O-CO₂ (CASHC) modelliert werden. Abb. 5 ist eine Projektion der relevanten Gleichgewichte (gelistet in Tab. 3) durch Mrg + Zo. Sie gibt den erwarteten, oberen P,T-Bereich an, welcher den Koexistenzbedingungen beider Phasen entspricht. Dieser Bereich liegt zwischen den Reaktionen Nr. 9 bei 4 kbar und Nr. 11 bei 4 kbar, also 630 - 450 °C im Bereich 4 - 7 kbar für $X_{CO_2} < 0,4$. Prinzipiell ist jedoch zu überlegen, daß die Übertragung obiger Resultate auf die beschriebenen Aggregate (Abb. 6) durch die Abweichung der auftretenden Minerale vom CASHC-System bedingt ist. Allerdings führen folgende Überlegungen zu einer besseren Annäherung des natürlichen Aggregatsystems:

1. Der Zoisit weist eine fast ideale Endgliedzusammensetzung auf (Abb. 2).
2. Der Margarit weist eine Verdünnung durch Paragonit auf, die knapp unter 30 Mol-% (Tab. 2) beträgt. Die Berechnung der relevanten Phasengleichgewichte (Abb. 6) wurde mit einer verminderten Mrg-Aktivität gemäß $a_{mrg} = X_{Ca}$ durchgeführt.
3. Der einzige Plagioklas, der in Korund-führenden Paragenesen mit Margarit im Gleichgewicht stabil auftreten kann, weist An 85 Mol-% auf (FEENSTRA, 1993). Diese Ca-Fraktionierungsverhältnisse treffen nur für die Anorthit-Einschlüsse im Spinell zu.
4. X_{H_2O} ist gemäß der Abb. 5 kleiner als 0,4. Dieser Wert stimmt gut mit jenen Werten überein, die aus frühen Fluideinschlüssen in Quarz (0,6 - 0,9) gewonnen wurden (JAWECKI, 1992). Demgemäß wurde als Modellzusammensetzung $X_{H_2O} = 0,7$ gewählt.

Die Abb. 6 zeigt die durch Mrg + Zo projizierten Phasenbeziehungen im CASHC für $a_{mrg} = 0,75$ und $X_{H_2O} = 0,7$. Das Rechteck oben rechts stellt schematisch die P,T-Bedingungen der prägenden Metamorphose (Abb. 3 und 4) dar. Der vorgeschlagene P,T-Weg nach der HT-Prägung der Gesteine wird zunächst durch Dekompression (PETRAKAKIS, 1986) und anschließend durch isobare Abkühlung -

zumindest bis zur Hydratisierungsreaktion vom Korund - gekennzeichnet. Der isobarer Ast müßte die Reaktionen $H_2O + Co + An \rightarrow Mrg$ (9), $An + Cc + H_2O \rightarrow Zo + CO_2$ (12), $An + H_2O \rightarrow Zo + Qtz + Mrg$ (11) und schließlich $Co + H_2O \rightarrow Dsp$ durchkreuzen. Der Calcit, der an der Reaktion (12) beteiligt ist, entstand durch den partiellen Zerfall von Granat durch die Ersteinwirkung von CO_2 -führenden Fluids bei höheren Temperaturen (PETRAKAKIS & JAWECKI, 1993).

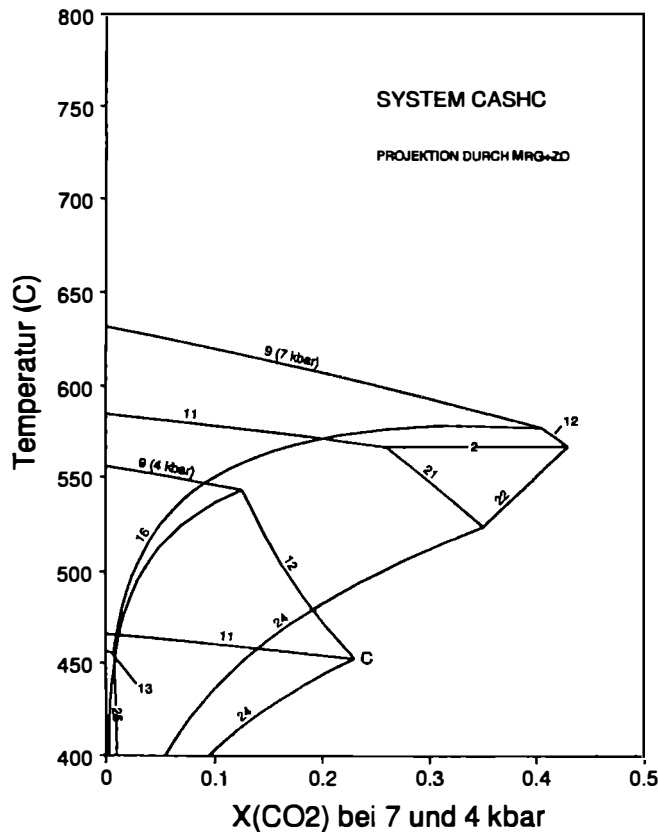


Abb. 5: Modellsystem zur Abschätzung der Koexistenzbedingungen von Margarit und Zoisit.

Diskussion und Zusammenfassung der Ergebnisse

1. Die reliktsche Paragenese Cor + Sp weist in Bezug auf die prägende, granulit-fazielle Metamorphose auf eine ältere Prägung der Gesteine hin. Relikte einer prä-HT-Prägung sind andererseits auch aus anderen Moldanubischen Serien bekannt. So z.B. aus Granaten in Gneisen der Bunten Serie, die "anomale" Ca-reiche Kerne

führen, (PETRAKAKIS, 1986) und aus der Monotonen Serie, wo zuletzt Sta + Ky-Relikte beobachtet wurden (LINNER, 1993). Die Klinopyroxenrelikte innerhalb der untersuchten Proben weisen auf eine Dekompression hin, die zum Zerfall dieses Minerals geführt hat (GREEN & LAMBERT, 1965).

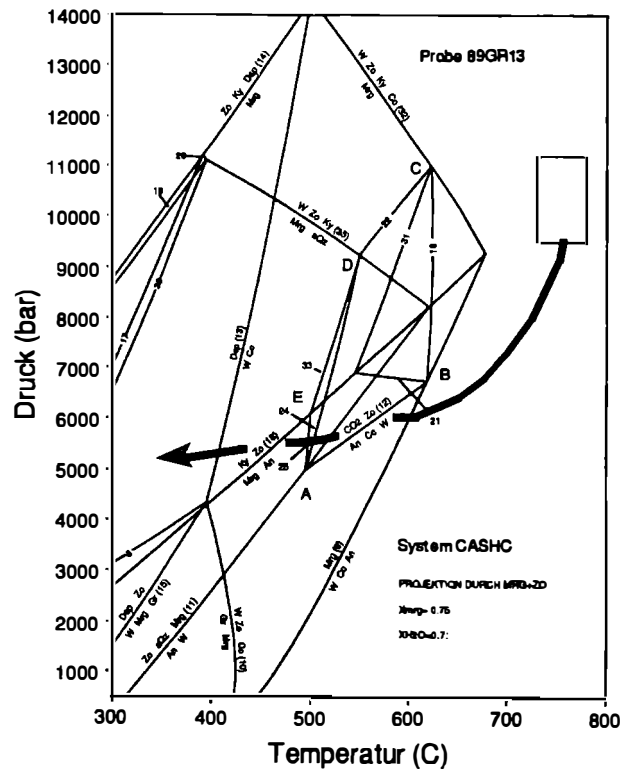


Abb 6: P,T-Diagramm zur Charakterisierung des P,T-Weges Moldanubischer Gesteine. Das Rechteck weist schematisch auf die Bedingungen der granulitfaziellen Prägung der Gesteine aus dem Dunkelsteiner Wald. Das Phasendiagramm gibt die Bedingungen der Koexistenz von Margarit + Zoisit wider, zusätzlich ist ein schematischer P,T-Pfad eingezeichnet.

2. Die Bedingungen für die prägende granulitfazielle Metamorphose, die aus den charnokitischen Granuliten des Dunkelsteiner Waldes abgeleitet werden, weichen geringfügig von jenen ab, die aus Begleitgesteinen der Gföhler Einheit (710 - 740 °C, 8,2 kbar; LIEBERMAN & PETRAKAKIS, 1991) und der Bunten Serie (700 - 770 °C, 7 - 9 kbar; PETRAKAKIS, 1986) gewonnen wurden. Die abgeschätzten Bedingungen (Abb. 3 und 4) entsprechen eher einem T-Maximum in Bezug auf die durch die Klinopyroxenrelikte implizierte Dekompression. Dies entspricht eher

einem thermischen Ausgleich nach einer Verdickung der Kruste im Zuge einer kontinentalen Kollision (THOMPSON & ENGLAND, 1984; ENGLAND & THOMPSON, 1984).

3. Die Abb. 6 belegt einen P,T-Weg, der im Uhrzeigersinn erfolgte. Er wird durch eine frühe Dekompression unmittelbar nach dem Metamorphosehöhepunkt und eine mehr oder weniger isobare Abkühlung bis zu den Bedingungen der Aggregatbildung hin charakterisiert. Die Dekompressionsphase wird durch Symplektite um Granat und die Prägung blastomylonitischer Texturen impliziert (PETRAKAKIS, 1986). Die abgeleiteten Bedingungen für die Mrg + Zoisit-Bildung innerhalb der Aggregate belegen einen Abkühlungs- und Hebungsweg, der qualitativ alle Moldanubischen Serien charakterisiert. Diese Bedingungen stimmen gut mit neuesten Ergebnissen überein (DALLMAYER et al., 1992), die aufgrund von $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Daten belegen, daß die Moldanubischen Serien eine Abkühlung bis 400 - 500 °C vor etwa 328 - 341 Ma erreichten. Der P,T-Weg in der Abb. 6 zeigt allerdings, daß der isobare Ast erst unter höheren Drücken verläuft, was auf eine "längere" Verweilzeit der Moldanubischen Serien in einem höheren Krustenniveau hinweist.

Literatur

- BERMAN, R.G. (1991): Thermobarometry using multi-equilibrium calculations: a new technique, with petrological applications. - *Canadian Mineral.*, 29, 833 - 855.
- DALLMAYER, R.D., NEUBAUER, F., HÖCK, V. (1992): Chronology of late paleozoic tectonothermal activity in the southeastern Bohemian Massiv, Austria (Moldanubian and Moravo-Silesian zones) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ mineral age controls. - *Tectonophysics*, 210, 135 - 153.
- ENAMI, M., BANNO, S. (1980): Zoisite-clinozoisite relations in low- to medium-grade high-pressure metamorphic rocks and their implications. - *Min. Mag.*, 43, 1005 - 1013.
- ENGLAND, P.C., THOMPSON, A.B. (1984): Pressure-temperature-time paths of regional metamorphism. I: Heat transfer during the evolution of the regions of the thickened continental crust. - *J.Petrol.*, 25, 894 - 928.
- FEENSTRA, A. (1993): Margarite and associated muscovite, paragonite and plagioclase in metabauxitic rocks of Naxos (Cyclades, Greece): mineral chemistry and Ca-Na-K partitioning. - *J.Petrol.*, zum Druck eingereicht.
- FRANZ, G., SELVERSTONE, J. (1992): An empirical phase diagram for the clinozoisite-zoisite transformation in the system $\text{Ca}_2\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$ - $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Fe}^{3+}\text{Si}_3\text{O}_{13}(\text{OH})$. - *Amer.Mineral.*, 77, 631 - 642.
- GREEN, D.H., LAMBERT, I.B. (1965): Experimental crystallisation of anhydrous granite at high pressures and temperatures. - *Journ.Geophys.Res.*, 70, 5259 - 5268.
- JAWECKI, Ch. (1992): Flüssigkeitseinschlußuntersuchungen an ausgewählten Proben des Niederösterreichischen Moldanubikums. - *Mitt.Österr.Miner.Ges.*, 137, 41 - 56.

- LIEBERMAN, J., PETRAKAKIS, K. (1991): TWEEQU Thermobarometry: Analysis of uncertainties and applications to granulites from Western Alaska and Austria. - Canadian Mineral., 29, 857 - 888.
- LINNER, M. (1992): Metamorphose der Paragneise in der Monotonen Serie (SE Moldanubikum). - Unveröff.Dipl.Arbeit Univ. Wien.
- LINNER, M. (1993): Zur Geochemie der Paragneise in der Monotonen Serie. Projekt S4709. - Mitt.Österr.Mineral.Ges., 138, 223 - 225.
- PETRAKAKIS, K. (1986): Metamorphism of high grade gneisses from the Moldanubian Zone, Austria, with particular reference to the garnets. - J. metamorphic Geol., 4, 323 - 344.
- PETRAKAKIS, K., JAWECKI, Ch. (1993): HT- and post HT-evolution of Moldanubian granulites based on geothermobarometry, phase diagram calculations and fluid inclusions data. - J.Petrol., zum Druck eingereicht.
- PRUNIER, A.R., HEWITT, D.A. (1985) Experimental observations on coexisting zoisite-clinzoisite. - Amer. Mineral., 70, 375 - 378.
- THOMPSON, A. B., ENGLAND, P.C. (1984): Pressure-temperature-time paths of regional metamorphism. II: Their influence and interpretation using mineral assemblages in metamorphic rocks. - J.Petrol., 25, 929 - 955.