

**ZUSAMMENSETZUNG UND HERKUNFT RETROGRAD GEBILDETER
FLÜSSIGKEITSEINSCHLÜSSE IM NOCKGEBIET (KÄRNTEN)**

von

Heinz Högelsberger⁺

(eingelangt am 2. 4. 1992, angenommen am 19. 6. 1992)

Zusammenfassung

Anhand ihrer Charakteristika lassen sich für die retrograd entstandenen Flüssigkeitseinschlüsse im Kristallin des Nockgebietes zwei Bildungsprozesse unterscheiden.

(1) Fluide, die bei der Subduktion der Radentheiner unter die Priedröf Serie freigesetzt wurden, sind hauptsächlich durch CO₂-dominierte Einschlüsse - mit geringen Gehalten an N₂ - dokumentiert. Die breite Streuung der Homogenisierungstemperaturen läßt auf einen weiten Temperaturbereich bei der Bildung und/oder nachträgliche Transpositionsphänomene schließen. Als mögliche Quelle für diese Fluide kommt der Magnetitkörper von Radenthein in Frage. Untergeordnet treten auch salzreiche wäßrige Einschlüsse auf.

(2) Retrograde Überprägungen im Kristallin der Priedröf Serie, die mit aus dem transgressiv überlagernden Permomesozoikum stammenden Wässern im Zusammenhang stehen, sind durch wäßrige Flüssigkeitseinschlüsse mit niedrigen Homogenisierungstemperaturen charakterisiert. CO₂-dominierte Einschlüsse, die ebenfalls vorkommen, weisen beträchtliche Beimengungen an N₂ und CH₄ auf.

Einleitung

Die Rolle von Fluiden bei metamorphen Prozessen ist Gegenstand zahlreicher geowissenschaftlicher Untersuchungen. Dabei werden deren Eigenschaften meist mittels thermodynamischer Berechnungen oder durch Phasenbeziehungen abgeleitet. Die Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen ist die einzige Methode, bei der Fluide direkt beobachtet und analysiert werden können.

Das Nockgebiet weist unterschiedliche Diaphtoresezonen auf, die sowohl durch Deckenbau als durch transgressive Sedimentation bedingt sind. Ziel dieser Arbeit ist die nähere Charakterisierung der Fluide, die jene retrograden Überprägungen verursacht haben.

⁺ Dr. Heinz Högelsberger
Institut für Geochemie der Universität Wien
Dr. Karl Lueger-Ring 1, A-1010 Wien

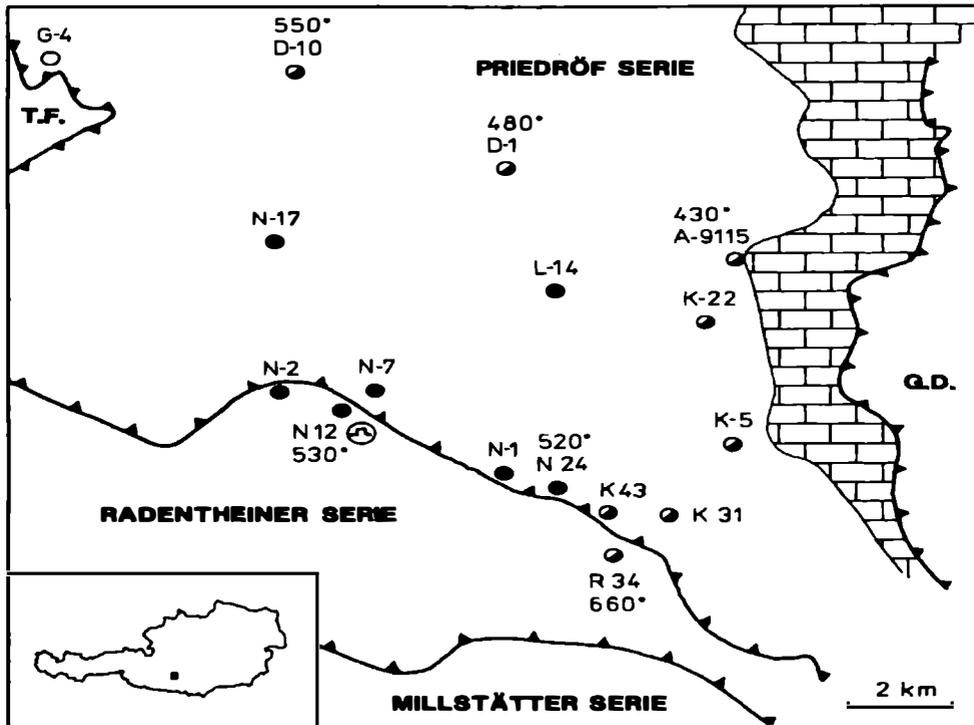


Abb. 1: Geologisch-tektonische Skizze des Kristallins zwischen Tauernfenster (T.F.) und Gurktaler Decke (G.D.) mit eingezeichneten Probenfundpunkten (Volle Kreise: CO₂-dominierte Flüssigkeitseinschlüsse, leere Kreise: wäßrige Einschlüsse vorhanden). Metamorphosetemperaturen wurden für einzelne Proben mittels Granat-Biotit-Thermometrie (bei 5 kbar) kalkuliert (nach SCHIMANA, 1986). Ziegelsignatur für das transgressive Permomesozoikum; Steinbruchsymbol für die Magnesitlagerstätte Radenthein.

Geologie

Das Kristallin zwischen dem Tauernfenster und der Gurktaler Decke läßt sich in drei Serien gliedern. Diese sind von Norden nach Süden bzw. vom Hangenden zum Liegenden die Priedröf, Radentheiner und Millstätter Serie. Sie können laut SCHIMANA (1986) anhand ihrer Entwicklungsgeschichte unterschieden werden. Während Priedröf und Millstätter Serie polymetamorph (variszisch und alpidisch) sind, weist die zwischengeschaltete Radentheiner Serie nur eine Metamorphose auf. Deren Alter ist durch Rb/Sr-Kleinbereichs- und Mineralisochronen mit 88-84 Ma belegt (SCHIMANA, 1986). Die Temperaturen dieser alpidischen Metamorphose nehmen generell nach S und W hin zu (Abb. 1). In der Priedröf Serie kommt es an der Deckengrenze zur

unterlagernden Radentheiner Serie zu intensiver Diaphtorese. Dies führt SCHIMANA (1986) auf Dehydrierungsreaktionen der Radentheiner Serie während ihrer aufsteigenden Metamorphose zurück. Retrograde Überprägung ist auch an der Oberkante des Priedröf-Kristallins im Bereich des überlagernden Stangalm-Mesozoikums zu beobachten.

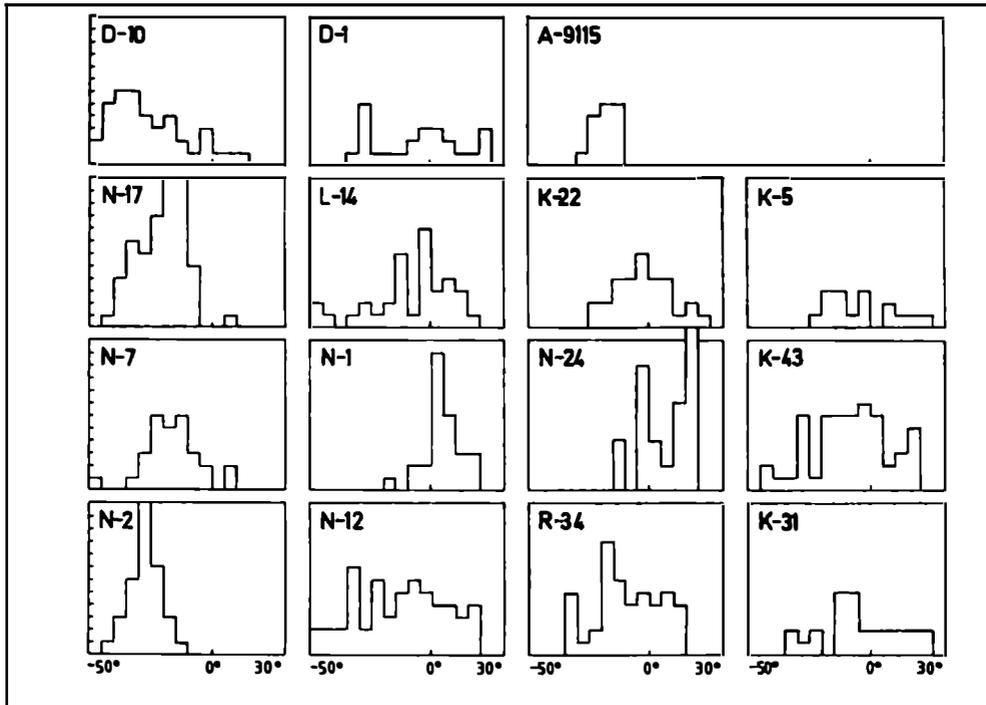


Abb. 2: Histogramme der Homogenisierungstemperaturen aller CO₂-dominierter Einschlüsse. 1 Teilstrich = 1 Messung.

Untersuchungen an Flüssigkeitseinschlüssen

Um eine optimale Korrelation zwischen den unterschiedlichen Methoden zu gewährleisten, wurden größtenteils jene Proben herangezogen, die schon SCHIMANA (1986) bearbeitet hat. Alle untersuchten Einschlüsse befinden sich in Matrixquarzen von Metapeliten der Priedröf und Radentheiner Serie. Eine Ausnahme bildet Probe A-9115; hierbei handelt es sich um einen Quarzgang in unmittelbarer Nähe des transgredierte Permomesozoikums.

Generell treten zwei Gruppen von Flüssigkeitseinschlüssen auf: CO₂-dominierte und wäßrige. Die CO₂-dominierten stellen die große Mehrheit der gefundenen und untersuchten Einschlüsse dar. Sie sind bei Raumtemperatur meist einphasig (flüssiges Kohlendioxid), weisen ovale Formen auf und sind in Gruppen ("cluster") angeordnet. Ihre Größe liegt unter 5 µm. Wäßrige Einschlüsse kommen nur untergeordnet in einigen Proben vor. Sie sind zweiphasig (flüssig und gasförmig) und haben meist längliche, zuweilen auch unregelmäßige Formen. Ihr Auftreten ist oft an verheilte Risse gebunden und verläuft somit entlang von Einschlusßügen ("trails"). Die größten Durchmesser liegen im Bereich von 10 µm. Alle Einschlüsse werden im Bezug zu ihrem Wirtsm Mineral als sekundär angesehen.

Probe	T _h in °C	CO ₂	N ₂	CH ₄
N-2	-35,0	95	5	Spuren
	-25,4	94	5	1
	-18,5	95	4	1
R-34	alle T _h	100	-	-
K-22	-32,5	94	5	1
	2,2	99	-	1
K-43	-42,0	94	6	Spuren
	-38,5	76	24	-
	-27,5	94	6	Spuren
	-5,2	95	5	Spuren
	12,1	98	2	-

Tab. 1: T_h-Werte und Raman-Analysen (in Mol.%) von CO₂-dominierten Einzeleinschlüssen in jeweils zwei Proben der Radentheiner (N-2, R-34) und Priedröf Serie (K-22, K-43).

CO₂-dominierte Einschlüsse:

Mittels mikrothermometrischer Methoden ("Heiz/Kühl-Tisch" Linkam THM-600) wurden Schmelz- und Homogenisierungstemperaturen (=T_h) von beiden Einschlusßtypen bestimmt. Die dabei gewonnenen Daten erlauben die Berechnung physikochemischer Parameter des Fluids wie Dichte und Zusammensetzung. Histogramme von T_h-Werten CO₂-dominierter Einschlüsse von 15 Proben zeigen eine große Variationsbreite (Abb.

2). Auffällig ist, daß benachbarte Proben aus der Priedröf und der Radentheiner Serie (z.B. R-34 - K-43) sehr ähnliche Verteilungsmuster aufweisen. Nur selten ist ein ausgeprägtes Verteilungsmaximum zu beobachten (z.B. Proben N-1, N-2). Meist zeigen die T_h -Daten eine weite Streuung. Anscheinend sind die Einschlüsse über einen großen Bereich von P-T-Bedingungen hinweg entstanden oder re-equilibriert worden. Sie spiegeln daher eher eine kontinuierliche Entwicklung als ein punktuellere Ereignis wider.

Gehalte von Methan und/oder Stickstoff in den CO_2 -Einschlüssen führen zu einer progressiven Schmelzpunktniedrigung unter -56.6° . In Abb. 3 sind die gemessenen Schmelztemperaturen ($=T_m$) zu den T_h -Werten in Beziehung gesetzt. Weder für Einschlüsse der Priedröf noch der Radentheiner Serie gibt es einen offensichtlichen Zusammenhang zwischen dem Gehalt an Beimengungen zum CO_2 und der Dichte. In beiden geologischen Einheiten liegen die Schmelztemperaturen zwischen -56.6° (für reines Kohlendioxid) und -60.2° .

Die Zusammensetzung der CO_2 -dominierten Einschlüsse wurde in vier Proben mittels Raman-Spektroskopie (BURKE & LUSTENHOUWER, 1987) analysiert. Tab. 1 gibt den Chemismus dieser ausgewählten Einzeleinschlüsse an.

Wie in Abb. 3 ergibt sich auch hier keine Korrelation zwischen Dichte (repräsentiert durch T_h) und Zusammensetzung. Die Gehalte an Methan sind durchwegs niedrig ($\leq 1\%$), während Stickstoff meist in einer Menge von 4-6% vorhanden ist. Nur eine Probe (R-34) enthält reine CO_2 -Einschlüsse.

In Probe A-9115 weisen auffällig niedrige Homogenisierungstemperaturen von -117.3° bis -100.2° (Abb. 2) auf größere Konzentrationen von CH_4 und/oder N_2 hin. Um diese Beimengungen abschätzen zu können, wurden von drei Bruchstücken der Probe die enthaltenen Fluide mit einem Quadrupolmassenspektrometer (Balzers QMG 511) analysiert. Tab. 2 gibt die Gesamtfluidzusammensetzung dieser Teilproben an.

H_2O	CO_2	N_2 & CO	CH_4	C_2H_6
97,2	1,5	0,8	0,4	0,1
96,9	1,8	0,9	0,3	0,1
96,7	2,0	0,8	0,4	0,1

Tab. 2: Massenspektrometrische Gasanalysen des Gesamtfluides von drei Teilproben der Probe A-9115 (in Mol.%)

Unter der Annahme, daß das H₂O in den wäßrigen, alle anderen Komponenten in den CO₂-dominierten Einschlüssen enthalten sind, läßt sich die Zusammensetzung letzterer bestimmen. Sie bestehen durchschnittlich aus ca. 57% CO₂, 27% N₂, 13% CH₄ und 3% höheren Kohlenwasserstoffen. Zwischen N₂ und CO kann bei dieser Meßmethode nicht unterschieden werden, doch wird Stickstoff bei weitem überwiegen.

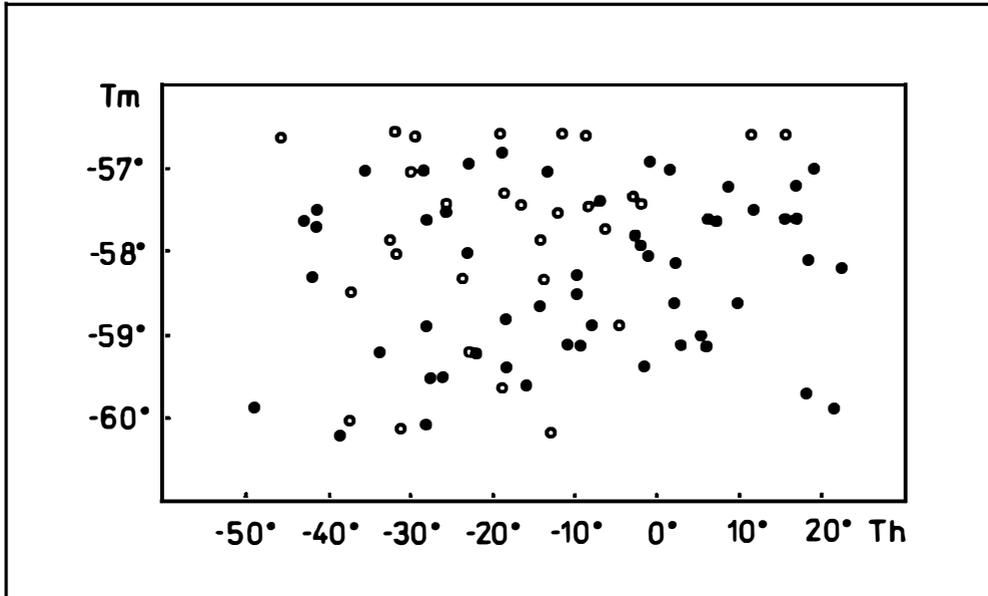


Abb. 3: Diagramm von Homogenisierungstemperatur (= T_h) gegen Schmelztemperatur (= T_m) von CO₂-dominierten Einschlüssen (Volle Kreise für Priedröf Serie, leere Kreise für Radentheiner Serie).

Wäßrige Einschlüsse:

Wäßrige Einschlüsse sind nur in einem Teil der untersuchten Gesteine zu finden. Einzig in Probe G-4 kommen sie ausschließlich vor. Wie auch bei den CO₂-dominierten Einschlüssen, erfolgt die Homogenisierung in die flüssige Phase (Verschwinden der Gasblase). Die dabei gemessenen Temperaturen sind auch in den Proben selbst sehr unterschiedlich und variieren von 70° bis 315°. Nur A-9115 weist einen relativ engen Bereich von T_h-Werten zwischen 97° und 171° auf. Auch die Salzgehalte sind variabel, meist jedoch hoch (17-26 Gew.% NaCl-Äquivalent). Die mikrothermometrischen Daten deuten darauf hin, daß neben NaCl noch andere Salze - vermutlich CaCl₂ - in der Lösung enthalten sind.

Diskussion und Schlußfolgerungen

Aufgrund mikrothermometrischer Messungen lassen sich die bei den beiden diaphtoserzeugenden Prozessen beteiligten Fluide im Nockgebiet unterscheiden und voneinander abtrennen:

(1) Fluide, die aus den transgredierte Sedimenten in das Kristallin migrierten, hinterließen größtenteils wäßrige Einschlüsse mit generell niedrigen Homogenisierungstemperaturen. Die ebenfalls auftretenden CO₂-dominierten Einschlüsse beinhalten größere Mengen an N₂ und CH₄, was sich in T_h-Werten < -100° niederschlägt (Probe A-9115).

(2) Flüssigkeitseinschlüsse, die auf die Subduktion und Metamorphose der Radentheiner Serie zurückgehen, sind hauptsächlich CO₂-dominiert, während die wäßrigen Einschlüsse eher selten sind. Beide Typen homogenisieren in einen großen Temperaturintervall.

Für die Tatsache, daß CO₂-dominierte Flüssigkeitseinschlüsse bei weiten überwiegen, gibt es mehrere Erklärungsmöglichkeiten.

So zeigt sich in vielen retrograd überprägten Arealen, daß das ursprünglich vorhandene wäßrige Fluid durch Hydrierungsreaktionen verbraucht wurde. Eventuell verbleibende wäßrige Fluide werden durch diesen Anreicherungsprozeß hochsalinar (CRAWFORD et al., 1979). Die an den Mineralreaktionen unbeteiligte Kohlendioxidkomponente bleibt in Form von Flüssigkeitseinschlüssen erhalten. Allerdings sind nicht nur in den "retrograden" Anteilen der Priedröf Serie, sondern auch in der "prograden" Radentheiner Serie (Probe R-34) salzreiche wäßrige Einschlüsse zu finden.

HOLLISTER (1990) sowie BAKKER & JANSEN (1990) beschreiben Mechanismen (z.B. plastische Deformation), bei denen aus ursprünglich gemischten H₂O-CO₂-Einschlüssen bevorzugt Wasser entweicht. Unterschiedliche physikalische Eigenschaften, wie Oberflächenspannung, sorgen dafür, daß Wasser entlang von Gitterstörungen des Quarzes aus den Einschlüssen migrieren kann. Das zurückbleibende Kohlendioxid füllt das gesamte Volumen auf, wodurch sich dessen Dichte reduziert. Tritt dieser Prozeß ein, geben mikrothermometrische Messungen weder die ursprüngliche Fluidzusammensetzung, noch die Einschlußbedingungen wider. Es gibt jedoch keine Hinweise (z.B. reliktsch erhaltene H₂O-CO₂-Einschlüsse), daß es in der Priedröf Serie zu dieser Entwicklung gekommen ist.

Geht man davon aus, daß die beobachteten Flüssigkeitseinschlüsse ein tatsächlich vorhandenens Fluid repräsentieren, benötigt man dafür eine entsprechende Lieferquelle. Die Magnesitlagerstätte von Radenthein könnte in der Lage sein, bei der alpidischen Überprägung große Mengen an Kohlendioxid freizusetzen. Dieses CO₂-reiche Fluid würde durch die benachbarten Gesteine migrieren und vorhandene Wässer "wegspülen". Aus Abb. 1 ist ersichtlich, daß Proben in unmittelbarer Nähe des Magnesitkörpers ausschließlich CO₂-dominierte Einschlüsse aufweisen, während in größerer Entfernung zusätzlich auch wäßrige Einschlüsse vorkommen. In Probe G-4 konnten überhaupt keine CO₂-Fluide mehr nachgewiesen werden.

Chemische Analysen zeigen, daß Stickstoff die häufigste Beimengung in den CO₂-dominierten Einschlüssen ist. Das N₂ kann sowohl biogenen Ursprungs sein, als auch als NH₄⁺-Ion K substituiert haben, um dann beim Zerfall von Feldspäten, Amphibolen und Schichtsilikaten freigesetzt zu werden (ANDERSEN et al., 1989).

Dank

Ich bedanke mich bei Michael Götzinger für die Erlaubnis zur Mitbenützung des verwendeten Heiz/-Kühltesches (FWF Projekt-Nr. P6972-GEO), als auch für die Organisation des "1. Österreichischen Fluid Info Treffens", in dessen Rahmen diese Arbeit präsentiert wurde. Ernst Burke (Freie Universität Amsterdam) führte freundlicherweise die Raman-Analysen durch, Walter Grum die massenspektrometrischen Gesamtfluidmessungen. Mein Dank gilt auch Robert Schimana für die Bereitschaft, mir seine Proben und Unterlagen zur Verfügung zu stellen. Dieses Projekt wird vom Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (Projekt-Nr. P7187-GEO) finanziert.

Literatur

- ANDERSEN, T., BURKE, E.A.J., AUSTRHEIM, H. (1989): Nitrogen-bearing, aqueous fluid inclusions in some eclogites from the Western Gneiss Region of the Norwegian Caledonides.- *Contrib. Mineral. Petrol.*, **103**, 153-165.
- BURKE, E.A.J., LUSTENHOUWER, W.J. (1987): Advantages of the application of a multichannel laser Raman microprobe (Microdil-28) in the analysis of fluid inclusions.- *Chem. Geol.*, **61**: 11-17.
- BAKKER, R.J., JANSEN, B.H. (1990): Preferential water leakage from fluid inclusions by means of mobile dislocations.- *Nature*, **345**, 58-60.
- CRAWFORD, M.L., FILER, J., WOOD, C. (1979): Saline fluid inclusions associated with retrograde metamorphism.- *Bull. Mineral.*, **102**, 562-568.
- HOLLISTER, L.S. (1990): Enrichment of CO₂ in fluid inclusions in quartz by removal of H₂O during crystal-plastic deformation.- *J. Struct. Geol.*, **12**, 895-901.
- SCHIMANA, R. (1986): Neue Ergebnisse zur Entwicklungsgeschichte des Kristallins um Radenthein (Kärnten, Österreich).- *Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr.*, **33**, 221-232.