

# Kontinuierliches-isochores Mineralwachstum in einer großen alpinen Kluft innerhalb des Glockner Deckensystems der Hohen Tauern (Ostalpen)

Von Kurt KRENN & Franz WALTER

## Zusammenfassung

Im Bereich der Glocknerwand unterhalb der Hofmannspitze auf 3.575 m SH (12° 41' 06,2" O, 47° 04' 53,0" N) wurde eine alpine Kluft innerhalb der Prasinite des Glockner Deckensystems geöffnet. Die Mineralisation der Kluft zeigt eine gut erkennbare Kristallisationsabfolge von Rauchquarkristallen auf Milchquarz, überwachsen von Adular + Hämatit + Chlorit und zwei späten Kalzit-Generationen (rhomboedrisch vor skalenoedrisch). Flüssigkeitseinschlüsse (FIs) aus dem Nebengestein sowie der Kluftminerale selbst wurden zur Bestimmung der jeweiligen Bildungsbedingungen herangezogen. Festphasen wie Albit, Rutil und Magnesit innerhalb der FIs treten ausschließlich in den konkordanten Quarzlagen der Prasinite auf. Es zeigt sich, dass in sämtlichen Kluftmineralen (Milchquarz, Rauchquarz, Adular und Kalzit) die Flüssigkeitseinschlüsse vergleichbare Chemie ( $H_2O-NaCl \pm KCl \pm MgCl_2$ ), Salinität (~ 3 Gew.-%) sowie Homogenisationstemperaturen (Minimumbildungstemperaturen) um 240–280° C aufweisen. Die Daten weisen auf ein druckbetontes Fluid (Dichte von 0.83 bis 0.77 g/cm<sup>3</sup>) während der Kluftbildung hin. Basierend auf ähnlichen Dichten, aber einer klar erkennbaren Wachstumsabfolge der einzelnen Kluftminerale, kann die Bildung der alpinen Kluftminerale im Glockner Deckensystem als ein isochorer (dichte-konstanter) Prozess, folgend nach dem Metamorphosehöhepunkt um 7 kbar und 500° C, interpretiert werden. Die Bildung und Entwicklung der alpinen Kluft umspannten einen PT-Bereich von ca. 3 kbar und 450° C bis 1 kbar und  $\geq 170^\circ$  C. Letztbedingungen werden mit der späten Bildung des skalenoedrischen Kalzits, während Kationenaustausches im Fluid (Mg–Ca), in Verbindung gebracht.

## Abstract

A large alpine cleft was discovered in the Glocknerwand near Hofmannspitze at 12° 41' 06,2" E, 47° 04' 53,0" N and 3.575 m above sea level. The cleft mineralization hosted in prasinite of the Glockner Nappe System and consists of early quartz mobilisates (milky quartz) followed by large crystals of smoky quartz, covered by adularia + hematite + chlorite and finished by two calcite generations, a first rhombohedral and a late scalenohedral. Fluid Inclusions (FIs) have been investigated from a quartz layer in prasinite host, milky quartz, smoky quartz and calcite. Exclusively in prasinite quartz, aqueous FIs with additional solid inclusions like albite, rutile and magnesite occur. FIs from all investigated host minerals show comparable chemistry ( $H_2O-NaCl \pm KCl \pm MgCl_2$ ), salinity (~3 Gew.-%) and homogenization temperatures (minimum conditions for entrapment) between 240–280° C. Data indicate a pressure dominated fluid, active during cleft formation, with a density range from 0.83 to 0.77 g/cm<sup>3</sup>. On basis of these similar densities of all FIs in the studied host minerals but clearly observed growth chronology, the formation of alpine clefts in the Glockner Nappe System can be interpreted as an isochoric, density-constant growth event, which happened after peak metamorphism (7 kbar/500° C) in a PT-range from ca. 3 kbar at 450° C down to 1 kbar at  $\geq 170^\circ$  C. Lowest conditions are linked with late-stage scalenohedral calcite growth and Mg–Ca exchange.

## Schlüsselwörter

Alpine Kluft, Glockner Deckensystem, Osttirol, Kluftminerale, Flüssigkeitseinschlüsse, Bildungsbedingungen

## Keywords

Alpine cleft, Glockner Nappe System, East Tyrol, cleft minerals, fluid inclusions, conditions of formation

### Einleitung

Seit den 1990er-Jahren ist im Hochgebirge ein zunehmender Rückgang des Permafrostes feststellbar. Durch das Abschmelzen der Eis- und Firnfelder kommen jedes Jahr in den Sommermonaten immer mehr apere Felsregionen in den Gletscherregionen hervor. Bei einer Bergtour im Sommer 1994 entdeckte der Mineraliensammler Stefan Obkircher, Landwirt aus dem Defereggental, jenen Hinweis – einen massiven Milchquarz

– im sehr steilen Gelände der Glocknerwand, der zum Auffinden einer der größten alpinen Klüfte in den Ostalpen führte. Wie in der Abb. 1 ersichtlich ist, liegt der Eingang zur Kluft unter Gesteinsschutt und ist am First mit Derbyquarz abgeschlossen. Der oberflächennahe Inhalt der Kluft ist seit 1994 dem Frost-Tauwechsel ausgesetzt, mit der Wirkung, dass die Mineralien in diesem Bereich durch Verwitterungsprozesse zerstört wurden.

Es bot sich also die Gelegenheit vor Ort, unter dem Gesteinsschutt eine noch weitgehend original erhaltene alpine Kluft mit ihrem Inhalt zu dokumentieren und wissenschaftlich zu untersuchen. Da diese alpine Kluft in der Kernzone des Nationalparks Hohe Tauern liegt, mussten für die Bearbeitung und die Bergung des Kluftinhaltes einerseits die Zustimmung des Grundeigentümers (Österreichischer Alpenverein) erlangt und andererseits bei der Bezirkshauptmannschaft Lienz ein wissen-

schaftliches Nationalparkprojekt bewilligt werden. Beides gelang für die Projektdauer von 2012 bis 2014. Der Projektleiter ist der Zweitautor (bis 09/2018 am Institut für Erdwissenschaften der Karl-Franzens-Universität Graz) und als Projektmitarbeiter im Gelände kamen Stefan Obkircher und Kurt Sternig, der auch als Bergführer für F. Walter tätig war, sowie nur zeitweise Andreas Rofner (Nationalparkbehörde) zum Einsatz. Neben der fachgerechten Bergung der Mineralien war die umfassende wissenschaftliche Bearbeitung zur Entstehung der Kluftmineralien in der Glocknergruppe das Projektziel.

Die Fundstelle, die vor 1994 unter Eis verborgen war, liegt in Osttirol auf einer Meereshöhe von 3.575 m in der Glocknerwand nordwestlich der Hofmannspitze und weist die Koordinaten 12° 41' 06,2" O und 47° 04' 53,0" N auf (Abb. 2).

Eine ausführliche Beschreibung der Fundgeschichte in der Glocknerwand wurde von GURSCHLER (2018) veröffentlicht.



**Abb. 1:**  
Stefan Obkircher  
1994 vor dem unter  
Gesteinsschutt  
liegenden Eingang  
zur Kluft, die am  
First mit Derbyquarz  
verschlossen ist.  
Foto: Archiv  
S. Obkircher

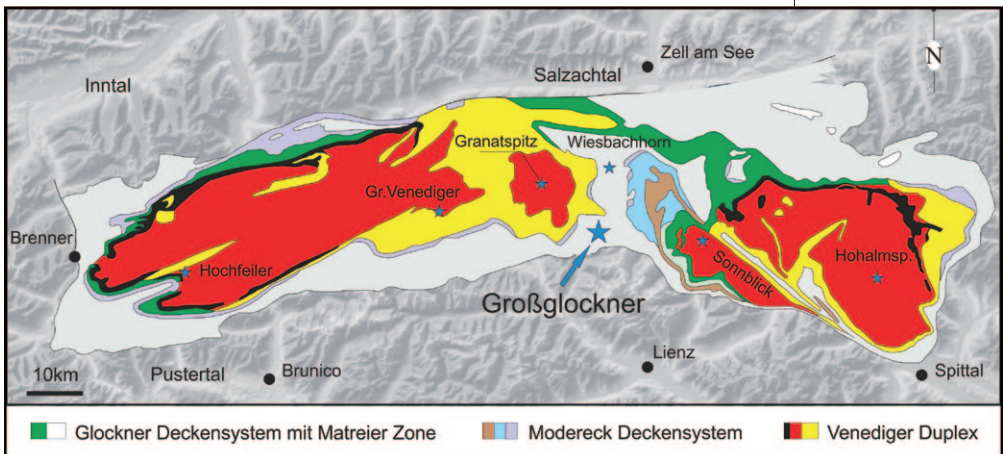


**Abb. 2:** Die Lage der alpinen Kluft in der Glocknerwand unter der Hofmannspitze, Osttirol. Links davon der Gipfelaufbau des Großglockners im Luftbild vom oberen Pasterzenboden aus gesehen. Foto: Ruedi Homberger, [www.fotohomberger.ch](http://www.fotohomberger.ch)

### Geologischer Rahmen

Die alpine Kluft befindet sich innerhalb des Glockner Deckensystems, welches nach SCHMID et al. (2013) zu den „ophiolite-bearing units“ gezählt wird (Abb. 3). Dieser Deckenstapel besteht vorwiegend aus Kalkglimmerschiefer mit untergeordneten Metasedimenten, oftmals abwechselnd mit Prasinit- und Amphibolitlagen in Abhängigkeit des Metamorphosegrades. Das Alter der Hochdruckmetamorphose wird mit Känozoisch angegeben und deutet auf gleichzeitige Subduktion des distalen Randes des Europäischen Kontinents, der Eklogitzone, hin. Die Metamorphose innerhalb des Glockner Deckensystems variiert sehr stark, von Eklogitfazies im zentralen Teil bis zu Grünschiefer- und Untere Blauschieferfazies in anderen Bereichen (OBERHÄNSLI et al. 2004). Maximale Druck- und Temperaturbedingungen um 17 kbar und 570° C sind nur gering schwächer als jene der Eklogitzone um ca. 600° C und 20 kbar (DACHS & PROYER 2001). Niedrigere Metamorphosebedingungen im Glockner Deckensystem wurden von DACHS (1990) aus Metasedimenten des Großvenedigergebietes bestimmt und gaben  $7.5 \pm 1$  kbar bei ca. 520° C.

**Abb. 3:** Vereinfachte Geologie des Tauernfensters nach SCHMID et al. (2013). Die Lage des Großglockners innerhalb des Glockner Deckensystems ist eingezeichnet.







**Abb. 4:** Die geöffnete alpine Kluft in der Glocknerwand mit Kurt Sternig und Franz Walter (am Bildrand). Deutlich ist die Kluftlage quer zur Schieferung des Nebengesteins (Prasinit) zu erkennen.  
Foto: S. Obkircher.

**Abb. 5:** Nach der Bergung des Kluftinhaltes sind die große Dimension des Kluftraumes und der mächtige Derbyquarz (Milchquarz) im Firstbereich (Hangenden) zu sehen. Mit Stefan Obkircher, Kurt Sternig und Florian Oberlohr (Lucknerhütte) in der Kluft.  
Foto: F. Walter

### Alpine Kluft und Mineralien

Die alpine Kluft befindet sich innerhalb der Prasinitlagen, die hier ein generelles NO-SW-Streichen und ein Fallen bis  $60^\circ$  nach SO aufweisen, und ist im Hangenden mit massivem Milchquarz abgeschlossen (Abb. 4 und 5). Das Streichen der Kluft beträgt NW-SO mit einem steilen Fallwinkel zwischen  $66^\circ$  und  $86^\circ$ . Die Kluft hat eine Tiefe von rund 7 m und weist als größten Querschnitt  $160 \times 150$  cm (b x h) auf, der sich tiefer im Berg auf  $80 \times 60$  cm (b x h) verengt. Der gesamte Kluftraum war mit einem Gemenge aus von der Kluftwand abgelösten Mineralstufen, Gesteinstrümmern und Eis gefüllt. Zur Bergung der Mineralien wurde ein Keramikbrenner mit Gasbetrieb eingesetzt, um die Mineralstufen möglichst schonend aus dem Eis zu befreien (Abb. 6), mechanische Hilfsmittel, wie Hammer und Meißel, kamen nur selten zum Einsatz.

Schon makroskopisch lässt sich eine eindeutige Kristallisationsabfolge der Kluftminerale feststellen. Auf dem massigen Milchquarz wachsen perfekt ausgebildete, rauchig gefärbte Quarzkristalle, die wiederum von Adular + Hämatit + wenig Chlorit überwachsen werden. Darüber treten zwei Kalzitgenerationen, eine rhomboedrische gefolgt von einer skale-noedrischen, als jüngste Kluftmineralbildung, auf (Abb. 7–9 und 15).

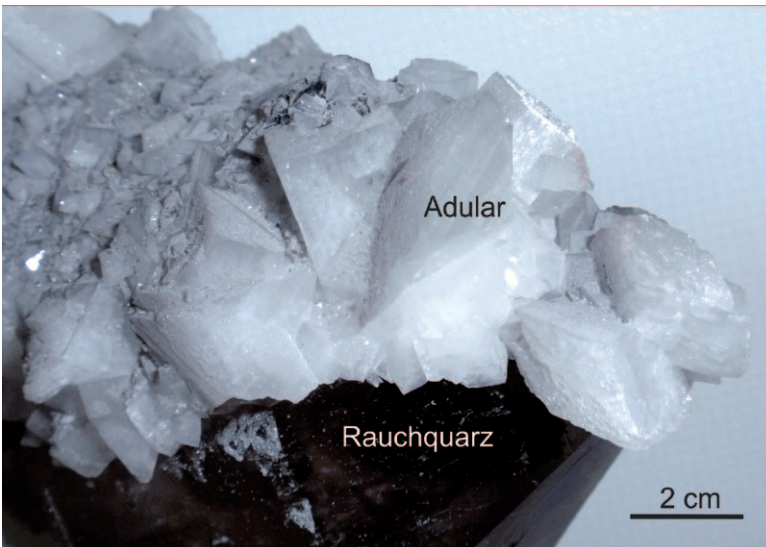




**Abb. 6:** Blick in die Kluft mit noch zu bergenden Mineralstufen, die mit Gesteinstrümmern im Eis eingebettet sind. Im Vordergrund der gasbetriebene Keramikbrenner. Bildbreite: 120 cm  
Foto: F. Walter

Untergeordnet kommen noch Titanit und Bornit, der fast vollständig zu Chrysokeil und Malachit umgewandelt ist, vor.

Großstufen der geborgenen Mineralien, die bis 150 kg schwer sind, wurden mittels Hubschrauber ins Tal geflogen (Abb. 10). Alle Mineralien sind Eigentum des Österreichischen Alpenvereines und werden nur für Ausstellungen verwendet. Die im Projektzeitraum 2012–2014 geborgenen Mineral-Großstufen (Abb. 11) sind im Glocknerhaus in Kals am Großglockner in einem eigens dafür eingerichteten Ausstellungsraum hervorragend präsentiert.



**Abb. 7:** Rauchquarzkristall überwachsen von Adular aus der alpinen Kluft in der Glocknerwand.  
Foto: F. Walter



**Analytik**

Zur Bestimmung der Einschlüsse in den einzelnen Kluftmineralgenerationen wurden als analytische Methoden Raman-Mikrospektroskopie und Heiz-Kühltisch-Mikrothermometrie am Institut für Erdwissenschaften, NAWI Graz, verwendet.

**Mikrothermometrie**

Für mikrothermometrische Untersuchungen an Flüssigkeitseinschlüssen (FIs) ist ein Dickschliff mit einer Dicke von ca. 200  $\mu\text{m}$  anzufertigen. Anschließend wird der gesamte Schliff fotografiert und die zu messenden Einschlussphasen werden mit Hilfe des Mikroskops auf dem

**Abb. 8:**  
Tafeliger und  
rosettenförmiger  
Hämatit auf Quarz  
aus der alpinen  
Kluft in der  
Glocknerwand.  
Bildbreite: 50 mm,  
Foto: F. Walter



**Abb. 9:**  
Kalzit in Formen-  
kombination von  
Skalenoeder und  
Rhomböeder aus  
der alpinen Kluft in  
der Glocknerwand.  
Foto: F. Walter



Foto markiert („Fluidpetrographie“). Um den Dickschliff von dem Objektträger zu lösen, wird dieser für wenige Stunden in Azeton eingelegt und anschließend für weitere Untersuchungen am Heiz-Kühltisch (LINKAM THMS-600) in wenige Quadratmillimeter große Fragmente gebrochen. Durch ständiges Aufheizen und Abkühlen der einzelnen Fragmente und der Beobachtung spezifischer Phasenübergänge in den FIs bei bestimmten Temperaturen während der Aufheizphase können unter anderem die chemische Zusammensetzung, die Minimumbildungstemperatur (Homogenisierungstemperatur) und die Dichte der Einschlüsse ermittelt werden. Folgende mikrothermometrische Parameter wurden gemessen: eutektische Schmelze ( $T_e$ ; Erstschnmelze) zur Bestimmung des chemischen Systems nach GOLDSTEIN & REYNOLDS (1994); Letztschnmelze von Eis ( $T_m$ ) zur Ermittlung der Salinität bei wässrigen Lösungen nach BODNAR (1993); Letztschnmelze von Hydrohalit [ $T_{mHH}$ ] zur Ermittlung der Verhältnisse der einzelnen Bestandteile des chemischen Systems nach Diagrammen aus OAKES et al. (1990) sowie die Homogenisierungstemperatur ( $T_h$ ) zur Bestimmung der Minimumtemperatur der



**Abb. 10:** Stefan Obkircher mit einer der großen Rauchquarzgruppen, aufgewachsen auf Prasinit (Kluftwand), kurz nach der Bergung aus der Kluft in der Glocknerwand. Foto: Archiv S. Obkircher



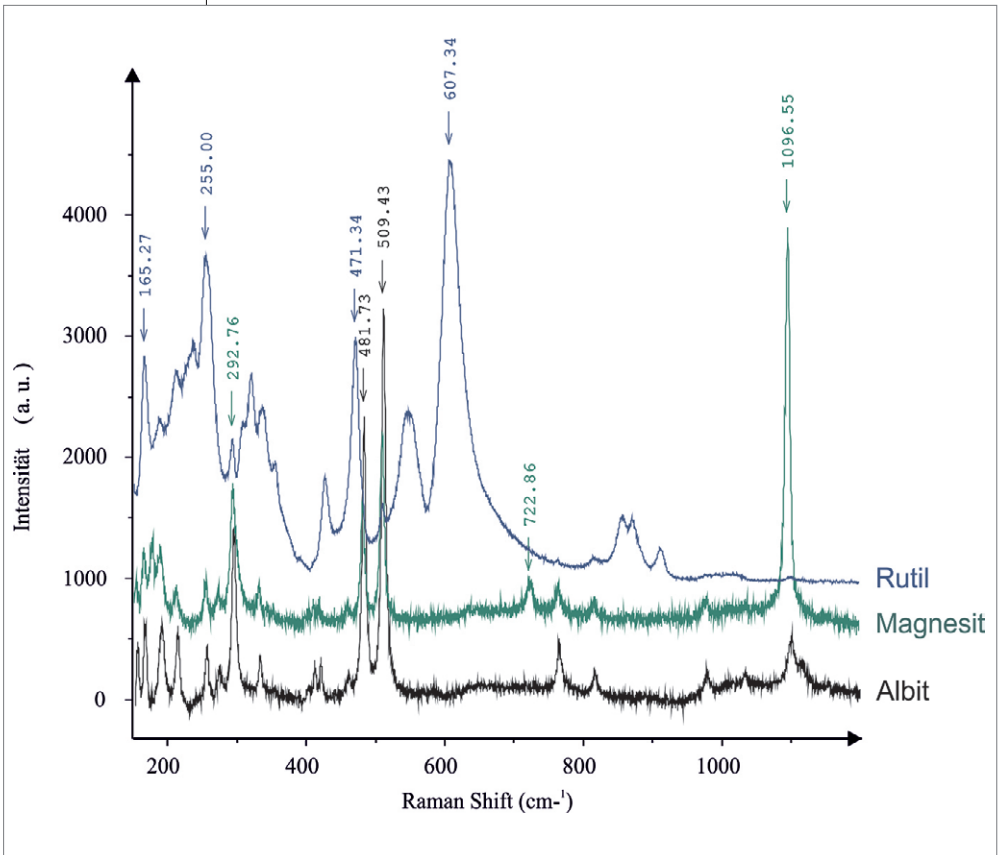
**Abb. 11:** Die größte Rauchquarzgruppe mit Adular aus der Kluft in der Glocknerwand mit Philipp Obkircher als Größenvergleich. Diese Kristallgruppe ist mit weiteren Objekten im Glocknerhaus, Kals, ausgestellt. Foto: S. Obkircher

Einschlussbildung und dessen Dichte. Mikrothermometrische Parameter wurden mit Hilfe der Software FLUIDS 1 (BAKKER 2003) (Programm „bulk“) verrechnet und die Steigung der jeweiligen Fluidisochoren (Programm „isoc“) ermittelt. Es wurden Zustandsgleichungen nach ZHANG & FRANTZ (1987), OAKES et al. (1990) und BODNAR (1993) verwendet. Parameter und errechnete Daten sind in Tabelle 1 angegeben.

### Raman-Mikrospektroskopie

Bei der Raman-Mikrospektroskopie wird die Probe mit einem Laserstrahl in einen energetischen Zustand übergeführt, der Frequenzunterschied des gestreuten Lichtes bezogen auf den Grundzustand einer unelastischen Streuung gemessen und als Linienspektrum im Stokes-Bereich dargestellt. Die Raman-Spektren wurden mit einem HORIBA-Jobin-Yvon-(LabRam-HR-800)-Raman-Mikrospektrometer am Institut für Erdwissenschaften, NAWI Graz, aufgenommen. Die Kristallgitter der Dickschlifffragmente wurden bei Raumtemperatur mit einem 100-mW-Nd-YAG-Laser und einer Wellenlänge von 532 nm durch ein Olympus-100x- sowie 50x-Objektiv (N.A. 0.9) angeregt. Der „Laserpunkt“ auf der Probenoberfläche hat einen Durchmesser von  $\sim 1 \mu\text{m}$  und die La-

**Abb. 12:**  
Raman-Spektren von Mineralphasen in Flüssigkeitseinschlüssen der konkordanten Quarzlage im Prasinit. Gekennzeichnete Peaks entsprechen den zugeordneten Mineralen Rutil, Magnesit und Albit.





serenergie auf der Probe beträgt ca. 20 mW. Das gestreute Licht wurde mit einem CCD Detektor (1.024 x 256) aufgezeichnet und alle Spektren der Gauß-Lorentz Funktion angepasst. Der Aufnahmebereich zur Identifikation von Festphasen in den Einschlüssen lag zwischen 150–1.200  $\text{cm}^{-1}$  und die Messzeiten variierten zwischen 10 und 20 sec.

## Resultate

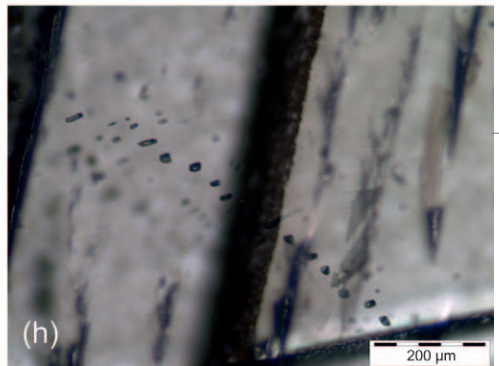
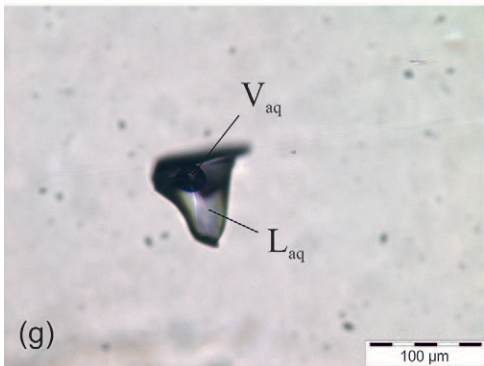
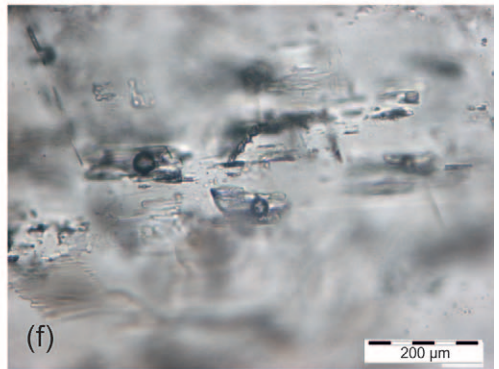
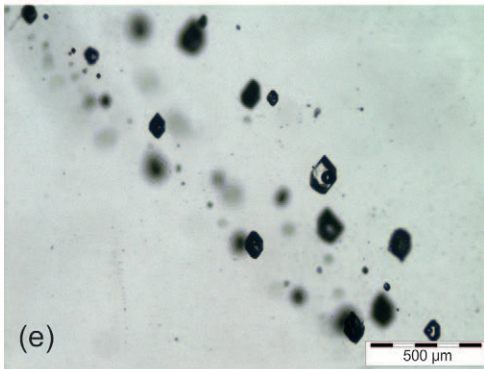
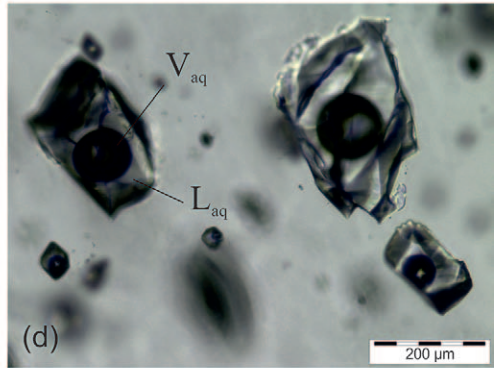
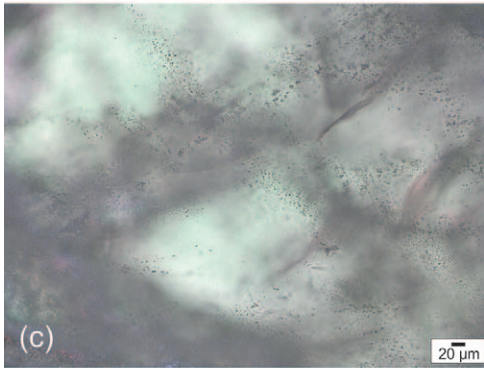
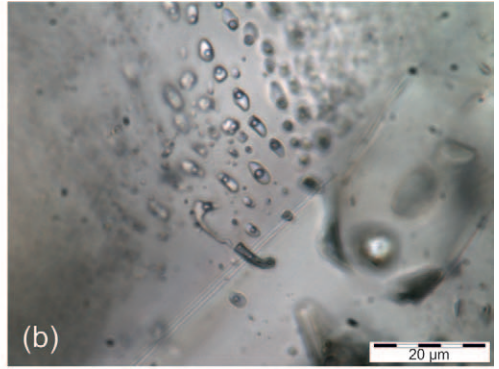
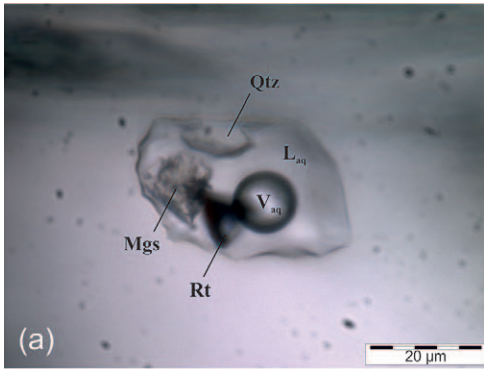
FIs wurden sowohl aus dem Nebengestein (konkordante Quarzlage im Prasinit), aus dem Trägermineral der Kluft (Milchquarz) als auch aus den aufgewachsenen Kluftmineralen (Rauchquarz, Adular und Kalzit) analysiert. Zusätzliche Festphasen wie Albit, Rutil und Magnesit wurden ausschließlich in FIs der konkordanten Quarzlage des Prasinitis eingebaut (Abb. 12; Abb. 13 a). FIs aus diesen Quarzlagen treten sowohl als Einzeleinschlüsse (primär) als auch in Clustern auf (Abb. 13 a, b) und zeigen eutektische Temperaturen ( $T_e$ ) zwischen  $-28.3$  und  $-27.5^\circ\text{C}$ . Dies deutet auf ein  $\text{H}_2\text{O}\text{-NaCl}\pm\text{KCl}\pm\text{MgCl}_2$ -hältiges Fluid, welches während der Quarzbildung im Prasinit dominierte. Basierend auf Letztschmelztemperaturen von Eis ( $T_m$ ) um  $-3.0$  bis  $-1.0^\circ\text{C}$  entspricht der Salinitätsgrad um 3.38 Gew.-% (durchschnittlich  $T_m = -2.0^\circ\text{C}$ ) einer typischen Meerwassersalinität. Homogenisation der Gasblase in die flüssige Phase [ $T_h(\text{L})$ ] zwischen  $249.8$  und  $279.9^\circ\text{C}$  ergeben Dichten von  $0.82$  bis  $0.77\text{ g/cm}^3$ .

FIs in Milchquarz erscheinen als intensives Netzwerk verfüllter Mikrorisse, parallel bis senkrecht zueinander angeordnet (Abb. 13 c). Die Einschlüsse sind sehr klein ( $<5\mu\text{m}$ ) und  $T_e$  nur schwer zu erkennen. Vergleichbare  $T_m$  um  $-2.5^\circ\text{C}$  weist auf ähnliche Fluidsalinität hin. Sämtliche FIs homogenisieren in die flüssige Phase in einem großen Temperaturbereich zwischen  $141.8$  und  $216.6^\circ\text{C}$ . Dieser hohe Schwankungsbereich weist auf („re-equilibrierte“) Einschlüsse unterschiedlicher Dichten hin. Sie wurden daher nicht zu einer Berechnung herangezogen.

FIs in Rauchquarz sind zumeist in negativer Kristallform ausgebildet (Abb. 13 d, e). Ihre Größe reicht bis zu  $300\mu\text{m}$  und sie treten sowohl als Einzelindividuen als auch entlang von Einschleusebenen (planes) auf.  $T_e$  liegt zwischen  $-22.0$  und  $-25.3^\circ\text{C}$  und Letztschmelzen von Eis ( $T_m$ ) zwischen  $-1.4$  und  $-0.5^\circ\text{C}$ . Vergleichbare Chemie sowie niedrige Salinität um 1.72 Gew.-% ( $T_m = -1.0^\circ\text{C}$ ) deuten auf das gleiche Fluidsystem wie im konkordanten Quarzgang und Milchquarz hin. Homogenisation der Gasblase in die flüssige Phase [ $T_h(\text{L})$ ] zwischen  $242.8$  und  $272.0^\circ\text{C}$  ergeben auch ähnliche Dichten von  $0.82$  bis  $0.77\text{ g/cm}^3$ .

FIs in Adular treten ebenfalls meist in negativer Kristallform parallel zur kristallographischen Spaltbarkeit auf (Abb. 13 f). Primäre Einschlüsse zeigen ein  $T_e$  zwischen  $-23.4$  und  $-21.1^\circ\text{C}$  sowie  $T_m$  von  $-1.8$  bis  $-0.9^\circ\text{C}$ . Letztere ergibt ähnliche Salinität von 2.57 Gew.-% ( $T_m = -1.5^\circ\text{C}$ ) und die Homogenisation der Gasblase in die flüssige Phase reicht von  $254.9$  bis  $272.7^\circ\text{C}$ . Die Dichten der Einschlüsse in Adular variieren daher zwischen  $0.81$  und  $0.78\text{ g/cm}^3$ .

Rhomboedrischer Kalzit zeigt zwei Gruppen von Einschlüssen: eine primäre Generation von Einzelindividuen mit negativer Kristall-



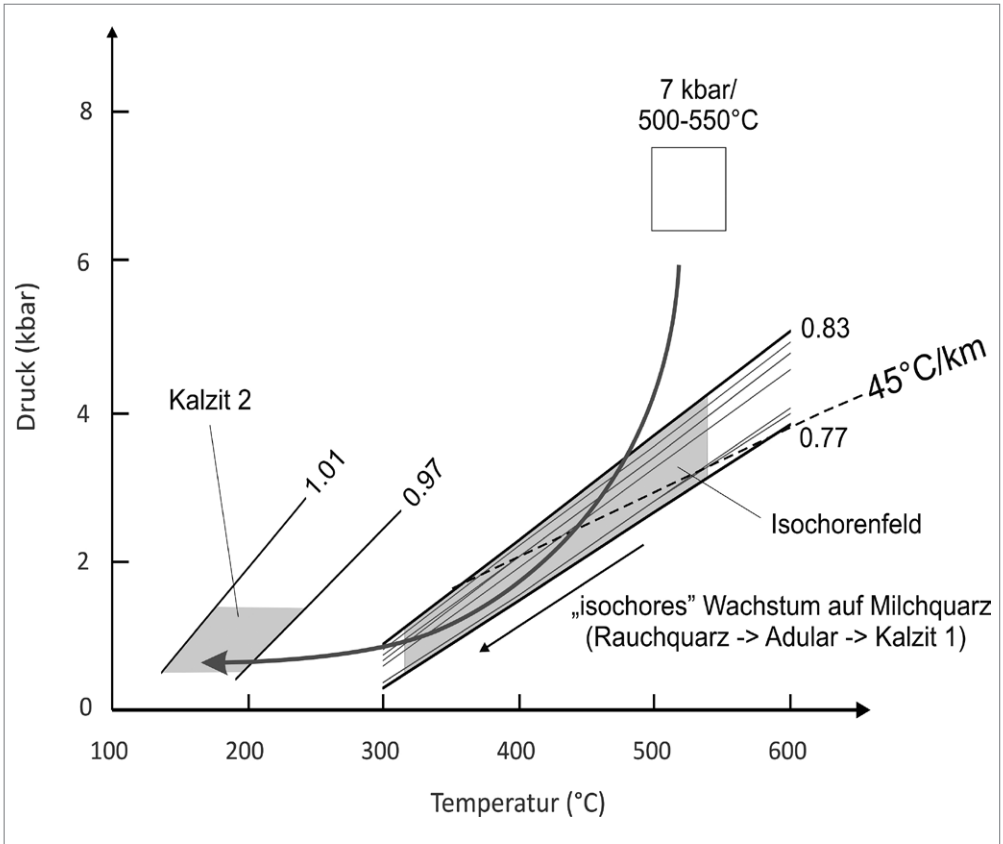
form (Abb. 13 g) sowie eine zweite, sekundäre Generation entlang von Ebenen mit unterschiedlichen Formen der FIs (Abb. 13 h). Eutektische Temperaturen beider Kalzitgenerationen zeigen dabei deutlich tiefere Temperaturen zwischen  $-44.7$  und  $-36.4^\circ\text{C}$ , die auf eventuell zusätzliches  $\text{CaCl}_2$  zurückzuführen sind. Dieses Fluidsystem, reduziert auf  $\text{H}_2\text{O-NaCl-CaCl}_2$  charakterisiert sich aufgrund von Hydrohalitschelzen ( $T_m(\text{HH})$ ) zwischen  $-26.7$  und  $-22.8^\circ\text{C}$  mit einem Verhältnis von  $\text{NaCl/CaCl}_2 = 0.7/0.3$  bis  $0.9/0.1$ . Beide Generationen weisen aber ebenfalls geringe Salinität unter 3 Gew.% ( $T_m = -1.4^\circ\text{C}$ ) auf. Variierende Homogenisationstemperaturen, an denen die Gasblase in die flüssige Phase homogenisiert, reichen von  $239.0$  bis  $248.7^\circ\text{C}$  für die primäre und von  $110$  bis  $166.2^\circ\text{C}$  für die sekundäre Generation. Daher ergibt sich ein deutlicher Dichteunterschied zwischen beiden Kalziteinschlussgenerationen, nämlich von  $0.83$  bis  $0.81\text{g/cm}^3$  für die erste und  $1.01$  bis  $0.97\text{g/cm}^3$  für die zweite Generation.

### Diskussion der Ergebnisse und PT-Entwicklung

Mikrothermometrische Daten wurden mit dem Programm „Isoc“ aus BAKKER (2003) verrechnet und deren Isochores in Abb. 14 geplottet. Bei genauem Datenvergleich fällt auf, dass sich das Fluidsystem seit Ausfällung des konkordanten Quarzanges im Prasinit kaum verändert hat. Bezogen auf das chronologische Wachstum der einzelnen Kluftminerale (auf Milchquarz wächst Rauchquarz, danach Adular + Hämatit + Chlorit und erst zuletzt kristallisieren 2 Kalzitgenerationen) weisen die Daten auf ein sich kaum verändertes Fluidsystem während der Kluftbildung hin. Lediglich während der Kristallisation der beiden Kalzitgenerationen (rhomboedrisch vor skalenoeedrisch) scheint ein Kationenaustausch zwischen Magnesium und Calcium stattgefunden zu haben. Auffällig sind die vergleichbaren Letztschmelztemperaturen ( $T_m$ ) von Eis, die vergleichbaren Homogenisationstemperaturen ( $T_h$ ) sowie das Homogenisierverhalten der Gasblase in die flüssige Phase. Dies deutet auf ein druckbetontes Fluid mit konstanter Dichte und Salinität während der Kristallisation der einzelnen Kluftminerale hin. Wenn man die späte Fluideinschlussgeneration im rhomboedrischen Kalzit (Kalzit 1) in Verbindung mit skalenoeedrischem Kalzit (Kalzit 2) als letztes Bildungsmineral bringt, so wären für die Kristallisation des Kalzit 2 niedrigere  $T_h$  und somit höhere Dichten repräsentativ, die als spätes Auskristallisieren um  $\geq 166^\circ\text{C}$  (Minimumbildungstemperaturen) interpretiert werden könnten. Diese Dichtezunahme wird mit Abnahme des Fluidvolumens während des letzten Auskristallisierens der skalenoeedrischen Kalzitgene-

**Abb. 13:** (a & b) Flüssigkeitseinschlüsse (FIs), teilweise mit festen Phasen in der Quarzlage des Prasinit; (c) Texturelles Auftreten der FIs in Milchquarz; (d & e) FIs in Rauchquarz mit überwiegend negativer Kristallform; (f) FIs in Adular mit negativer Kristallform parallel zur kristallographischen Spaltbarkeit; (g) Primärer Zeileinschluss in Kalzit 1; (h) Sekundäre Einschlussebene aus FIs im Kalzit 1.  $V_{\text{aq}}$  – Gasblase,  $L_{\text{aq}}$  – Flüssigphase, Mgs – Magnesit, Rt – Rutil, Qtz – Quarz. Mikroskopfotos: K. Krenn.





**Abb. 14:** Das PT-Diagramm zeigt den Abkühlpfad, ermittelt aus Isochoren der einzelnen Fls von Milchquarz, Rauchquarz, Adular und Kalzit, und die Metamorphosebedingungen des Nebengesteins aus DACHS (1990). Die Hebung und damit verbundene Abkühlung unterliegen einem erhöhten geothermischen Gradienten von  $\geq 45^\circ \text{C/km}$ .

ration interpretiert. Das PT-Diagramm in Abb. 14 zeigt ein klares, für sämtliche Wirtsminerale repräsentatives, Isochorenfeld. Aufgrund der klar vorliegenden makroskopischen Kristallisationsabfolge kann die PT-Pfadentwicklung während der Abkühlung und Hebung der Gesteine der Glocknerdecke daher als spätes isochores System betrachtet werden, unter dem es zur Bildung der mineralreichen Klüfte kommt, welche in der Glocknerwand häufig anzutreffen sind. Ausgehend von den maximalen Metamorphosebedingungen dieser Einheit nahe dem Großglocknergipfel um 7 kbar und 500–550°C (DACHS 1990), ergibt sich hiermit ein PT-Pfad entlang eines erhöhten geothermischen Gradienten um  $\geq 45^\circ \text{C/km}$  während frühester Kluftmineralbildung um etwa 3 kbar und 450°C bis hin zu später Ausfällung der letzten Generation des Kalzits um etwa 1 kbar und  $\geq 170^\circ \text{C}$ . Dies weist auf eine bereits beginnende Kluftbildung in 9–10 km Krustentiefe hin. Aufgrund der gemeinsamen Dichten innerhalb der Flüssigkeitseinschlüsse in den jeweiligen Wirtsmineralen kann hiermit ein Ausfällen unter konstanten Dichtebedingungen entlang des Isochorenfeldes zwischen 0,83 und 0,77 g/cm<sup>3</sup> postuliert werden. Dieses „isochore“ Auskristallisieren könnte auch die Ursache für die gut ausgebildeten negativen Kristallformen in den einzelnen Wirtsmineralen des Rauchquarzes, Adulars und Kalzit 1 sein.

Wirtsmineral	Textur	n	Größe (µm)	F	Phasen	$T_e$ (°C)	$T_m$ (HH) (°C)	$T_m$ (°C)	$T_h$ (L) (°C)	Salinität (Gew.%)	Dichte (g/cm <sup>3</sup> )	Fluidsystem
Quarzlage	Primär Ebenen	8	20–30	0.6	L,V,S	-28.3 –						H <sub>2</sub> O-NaCl ±KCl±MgCl <sub>2</sub>
		12	5–8	0.6	L,V	-27.5		-3.0 – -1.0	249.8–279.9	3.38	0.82–0.77	
Milchquarz	Sekundär	15	≤5	0.6–0.8	L,V	---		~ -2.5	141.8–216.6	---	----	----
Rauchquarz	Primär	20	50–200	0.6	L,V	-22.0 – -25.3		-1.4 – -0.5	242.8–272.0	1.72	0.82–0.77	H <sub>2</sub> O-NaCl ±KCl±MgCl <sub>2</sub>
Adular	Primär	15	80–200	0.6	L,V	-23.4 – -21.1		-1.8 – -0.9	254.9–272.7	2.57	0.81–0.78	H <sub>2</sub> O-NaCl ±KCl±MgCl <sub>2</sub>
Kalzit-Rhomboeder	Primär-Ebenen	5	80–120	0.6		-44.7 –	-26.7 –		239.0–248.7		0.83–0.81	H <sub>2</sub> O-NaCl ±CaCl <sub>2</sub>
		15	40–20	0.9	L, V	-36.4	-22.8	-2.5 – -0.8	110.0–166.2	2.70	1.01–0.97	

**Tab. 1:**  
Mikrothermometrische Daten aus  
Fis der untersuchten  
Wirtsminerale.



**Abb. 15:**  
Stefan Obkircher  
mit soeben gebor-  
genem Rauchquarz-  
kristall aus der  
großen Kluft in der  
Glocknerwand.  
Foto: F. Walter

**Dank**

F. Walter dankt den Herren Robert Renzler, Generalsekretär des Österreichischen Alpenvereines, und DI Hermann Stotter, Nationalparkdirektor Tirol, für die Genehmigungen und die Unterstützungen zur Durchführung des mineralogischen Projektes in der Glocknerwand. Herrn Ruedi Homberger, Arosa, CH, sei für die Genehmigung zur Verwendung des Luftbildes vom Großglockner gedankt.

**Anschriften der Autoren**

Priv.-Doz. Mag. Dr. Kurt Krenn, NaWi Graz, Institut für Erdwissenschaften, Heinrichstrasse 26, 8010 Graz  
E-Mail: kurt.krenn@uni-graz.at

Ao. Univ.-Prof. i. R. Dr. Franz Walter, Kirinweg 43, 8062 Kumberg  
E-Mail: franz.walter1952@gmx.at  
c/o Freier wissenschaftlicher Mitarbeiter, Abteilung für Mineralogie, Studienzentrum Naturkunde, Universalmuseum Joanneum, Weinzöttlstrasse 16, 8045 Graz  
E-Mail: mineralogie@museum-joanneum.at  
www.museum-joanneum.at

**LITERATUR**

- BAKKER R. J. (2003): Package FLUIDS 1. Computer programs for analysis of fluid inclusion data and for modelling bulk fluid properties. – *Chemical Geology*, 194: 3–23.
- BODNAR R. J. (1993): Revised equation and table for determining the freezing point depression of H<sub>2</sub>O–NaCl solutions. – *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57: 683–684.
- DACHS E. (1990): Geothermobarometry in metasediments of the southern Grossvenediger area (Tauern window, Austria). – *Journal of Metamorphic Geology*, 8: 217–230.
- DACHS E. & PROYER A. (2001): Relics of high-pressure metamorphism from the Grossglockner region, Hohe Tauern, Austria: paragenetic evolution and PT-paths of retrogressed eclogites. – *European Journal of Mineralogy*, 13: 67–86.
- GOLDSTEIN R. H. & REYNOLDS T. J. (1994): Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals. – *Society of Sedimentary Geologists, Short Course 31*: 199 S.
- GURSCHLER S. (2018): Ein sagenhafter Schatz. Die Kristalle vom Großglockner. – *Alpenvereinsjahrbuch Berg 2018*, 142: 44–51.
- SCHMID S. M., SCHARF A., HANDY M. R. & ROSENBERG C. L. (2013): The Tauern Window (Eastern alps, austria): a new tectonic map with cross-sections and tectono-metamorphic synthesis. – *Swiss Journal of Geosciences*, 106: 1–32.
- OBERHÄNSLI R., BOUSQUET R., ENGI M., GOFFÉ B., GOSSO G., HANDY M., HÖCK V., KOLLER F., LARDEAUX J.-M., POLINO R., ROSSI P., SCHUSTER R., SCHWARTZ S. & SPALLA M. I. (2004): Metamorphic structure of the Alps 1: 1.000.000. In: Explanatory note to the map "Metamorphic structure of the Alps". – Commission for the Geological Map of the World, Paris.
- OAKES C. S., BODNAR R. J. & SIMONSON T. M. (1990): The system NaCl–CaCl<sub>2</sub>–H<sub>2</sub>O: The ice liquidus at 1 atm total pressure. – *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54: 603–610.
- ZHANG Y. G. & FRANTZ J. D. (1987): Determination of the homogenization temperatures and densities of supercritical fluids in the system NaCl–KCl–CaCl<sub>2</sub>–H<sub>2</sub>O using synthetic fluid inclusions. – *Chemical Geology*, 64: 335–350.



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

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Carinthia II](#)

Jahr/Year: 2019

Band/Volume: [209\\_129](#)

Autor(en)/Author(s): Krenn Kurt, Walter Franz

Artikel/Article: [Kontinuierliches-isochores Mineralwachstum in einer großen alpinen Kluft innerhalb des Glockner Deckensystems der Hohen Tauern \(Ostalpen\) 551-564](#)