

**FLUID-INCLUSIONS-UNTERSUCHUNGEN AN KLUFTQUARZEN
DES UNTERENGADINER FENSTERS.
HINWEISE ZUR (SPÄT)METAMORPHEN ENTWICKLUNG DER BÜNDNERSCHIEFER**

von

Rufus J. Bertle¹ & Michael A. Götzinger²

¹Institut für geologische Wissenschaften
Universität Wien, Geozentrum, Althanstrasse 14, A-1090 Wien

²Institut für Mineralogie und Kristallographie
Universität Wien, Geozentrum, Althanstrasse 14, A-1090 Wien

Kurzfassung

Diskordante Klüfte der verschiedenen tektonischen Einheiten (Fimbereinheit, Zone von Pfunds) des Engadiner Fensters wurden auf ihre Fluid-inclusions-Führung und ihren Chemismus untersucht und daran anschließend eine Abschätzung der Druck-Temperatur-Bedingungen der späten metamorphen Entwicklung des Engadiner Fensters durchgeführt. Die Einschlüsse in den späten Klüften sind in allen tektonischen Einheiten von vergleichbarem Chemismus, nämlich fast reine H₂O-Einschlüsse mit max. wenigen Zehntel Gewichtsprozent NaCl.

Bei Raumtemperatur können 2 Typen unterschieden werden: Gasblasen-führend und homogen flüssig, wobei die Gasblasen-führenden Einschlüsse in der Regel bei max. 150°C homogen werden. Beim Gefrieren der Einschlüsse bilden sich Bruchstrukturen ("Flügel"), die beim Auftauen jedoch wieder verheilen und damit Volumskonstanz des Einschlusses während des Untersuchungsvorgangs nahelegen. Die P-T-Ermittlung ergibt Drucke zwischen 1 und 4.25 Kbar für die Klüfte, basierend auf einer Dichte der Wassereinschlüsse von 0.90 bis 1,00 g/cm³. Die Klüfte selbst werden auf Grund ihrer Raumlage als ac-Klüftung des Engadiner Gewölbes interpretiert. Sämtliche Einschlußtypen (primär, pseudosekundär, sekundär) zeigen vergleichbare Chemismen. Es wird daher auf eine Exhumation der Gesteine des Engadiner Fensters entlang der Isochoren des H₂O-Systems geschlossen. Die Bildung der Klüfte steht am Beginn der Aufwölbung des Engadiner Fensters in Form des Engadiner Gewölbes unterhalb des ostalpinen "Deckels". Die aus dem ermittelten Exhumationspfad ermittelten Exhumationsraten entsprechen jenen von bekannten Hochdruckgesteinsvorkommen und betragen ca. 0.5 kbar/Ma.

Regionale Geologie

Innerhalb des Unterengadiner Fensters (UEF) treten die etwas weiter westlich im Bereich des Prätigau-Halbfensters unterhalb des Ostalpins einfallenden Bündnerschiefer in Form eines tektonischen Fensters wieder zu Tage. Das UEF bildet dabei eine großräumige antiklinale Struktur deren N-S-Erstreckung ca. 17 km und dessen E-W-Erstreckung max. 55 km beträgt.

Der Rahmen des Fensters wird dabei von den ostalpinen Silvretta- und Ötztaldecken (incl. deren sedimentärer Hülle) gebildet. Der Fensterinhalt lässt sich drei Großeinheiten zuordnen, die allesamt dem Penninikum angehören (Abb.1).

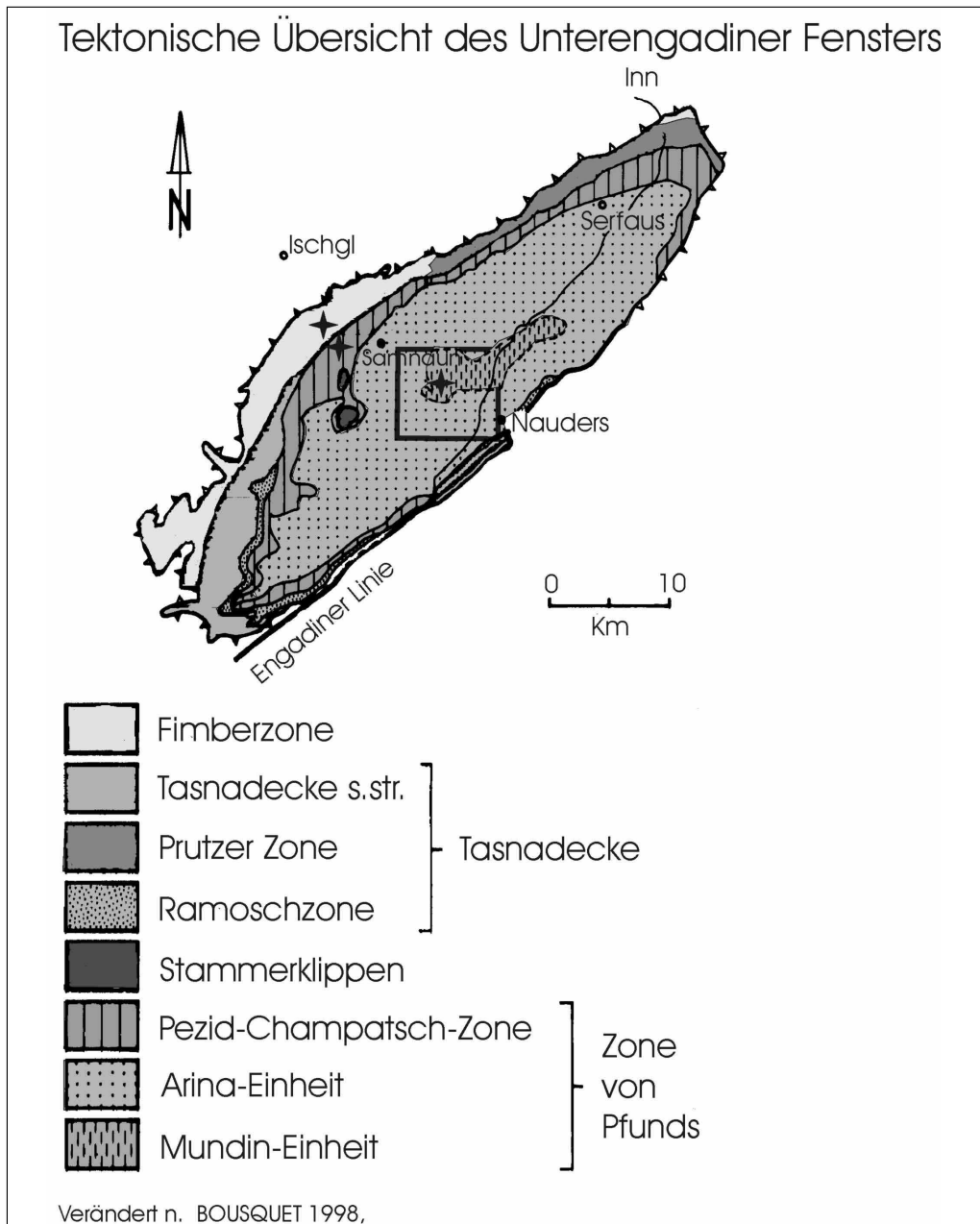


Abb. 1

Tektonische Übersicht des Unterengadiner Fensters mit Probenpunkten (Sterne) aus drei tektonisch verschiedenen Niveaus.

Es sind dies die hangendste Fimbereinheit, die eine tektonische Melange darstellt (z.B. RING, 1989; BERTLE, 2002; OBERHAUSER, 1995). Sie wird – ihrer Natur entsprechend – aus vielfältigsten Gesteinen aufgebaut: Reste von Ophioliten, Flyschserien unterschiedlichsten Alters, aber auch kontinentale Splitter. Die Fimbereinheit wird dem Südpenninikum zugerechnet (OBERHAUSER, 1995; BERTLE, 2002; TOLLMANN, 1987). Die nächsttiefere Einheit ist die Tasnadecke, die dem Mittelpenninikum zugerechnet wird. Sie wird von einem kontinentalen Krustensplitter (incl. dessen Mantel) und seiner sedimentären Hülle von v.a. permomesozoischem Alter aufgebaut. Das Fensterinnerste wird großflächig von der Zone von Pfunds gebildet, die vor allem von Bündnerschiefern kretazischen Alters (BERTLE, 1999, 2001) und Ophiolithresten aufgebaut wird.

Sämtliche tektonische Einheiten wurden im Tertiär durch eine Metamorphose über- und strukturell geprägt (THÖNI, 1999; BERTLE, 2000), wobei Teile der Fimbereinheit und der Zone von Pfunds blauschieferfaziell überprägt wurden (BOUSQUET, 1999; LEIMSER & PURTSCHHELLER, 1980). Über die spätmetamorphe Entwicklung liegen bisher nur wenige Daten vor (STÖCKHERT et al. 1990; RING, 1989), daher wurden aus der Fimbereinheit und der Zone von Pfunds Kluftquarze auf ihre Fluid-Einschlüsse (inclusions; FI) hin untersucht.

Probenpunkte und Daten

Es wurden aus verschiedenen tektonischen Niveaus des Unterengadiner Fensters +/- in einem Profil mit N-S-Orientierung Proben aus Klüften, die (meist) diskordant zur Hauptschieferung durchschlagen (meist normal auf die Schieferung stehen) und brauchbare Kristalle lieferten, zur FI-Untersuchung herangezogen. Für die FI-Untersuchungen wurden beidseitig polierte Kristallplatten (ca. 8 x 8 x 0.4 mm) hergestellt und verwendet.

- 1) Kluft in Triaskarbonat am Salaaser Kopf auf Blatt 170 Galtür (S-lich Idalpe, Fimberzone, FUCHS & OBERHAUSER, 1995). Es handelt sich um eine diskordante Kluft, die mit Quarz und Calcit besetzt ist.
- 2) Kluft in Bündnerschiefer aus den hangendsten Anteilen der Zone vom Pfunds im Bereich Zebblasjoch (BE 36/00, Fundpunkt in BERTLE, 1999). Auch hier handelt es sich um eine diskordante Q-Cc-Kluft mit schön ausgebildeten Kristallindividuen.
- 3) Kluft in Bündnerschiefer im oberen Val Sampuoir, SH ~ 2300 m, sowohl diskordant (BE 25/02) als auch verfaltet (BE 24/02). Die erste Probe ist mit schönen Kristallen besetzt, die zweite Probe dagegen besteht aus milchig-weißem Quarz, der keine Kristallflächen besitzt. BE 25/02 stellt strukturell eine Extensionsspalte dar, wie sie in kompetenteren Lagen der Bündnerschiefer oft angetroffen wurden.
- 4) Kluft knapp S-lich P. 2945 in blauschieferfaziell überprägtem Basalt. Sie schlägt diskordant durch die Hauptschieferung durch und besitzt eine ähnliche Raumlage wie BE 36/00. Die Kluft ist mit bis zu mehreren cm-großen Quarz- und Calcitkristallen, sowie idiomorphen, verzwilligten Albiten besetzt. Die Albite (röntgenographisch identifiziert) zeigen im Binokular viele Einschlüsse. Vom Kontakt Kristall-Wirtgestein aus wachsen leicht bräunlich gefärbte Epidot/Clinozoisitkristalle in die Kluft, die dann von Quarz abgelöst werden.

In diesem Bereich finden sich auch kleine dünne Amphibolnadeln, vermutlich von aktinolithisch-tremolithischem Chemismus. Der Klüftwand-nahe Bereich ist stark mit Einschlüssen durchsetzt, die 2 Hauptanordnungen sind einerseits parallel zur Klüftwand und andererseits genau normal dazu. Gegen die Klüftmitte hin nimmt die Einschlussanzahl ab. Weiters finden sich die Einschlüsse vermehrt parallel zu den Kristallflächen und sind daher als primär anzusprechen. Bemerkenswert ist, daß die Dichte der Einschlüsse von der Klüftwand zur Klüftmitte hin nicht markant abnimmt, was auf eine Exhumation der Gesteine entlang der Isochore hinweisen könnte. Weitere Kristalle aus BE 47/00 zeigen die gleichen Merkmale.

- 5) FI mit Gasblase konnten auch in petrographischen Dünnschliffen aus Bündnerschiefern (Lokalitäten über das gesamte Fenster verteilt wurden untersucht) mit Quarzklasten entdeckt werden. Sie alle zeigen sehr ähnliche FI-Merkmale bei Raumtemperatur wie die Klüftkristalle (s.u.)

Die Raumlage der Klüfte in Bezug zu den Großstrukturen des Engadiner Fensters ist repräsentativ für die Probe BE 47/00 im unten angegebenen Lagenkugeldiagramm wiedergegeben. Die untersuchten Klüfte könnten eine ac-Klüftung zur Engadiner Antiklinale (= Engadiner Gewölbe, MATTMÜLLER, 1996) darstellen darstellen (s.o.). Die Gürtelverteilung wird durch das Engadiner Gewölbe bedingt, deren ac-Klüftung (Raumlage durch die Sterne als Flächenpole angegeben) beprobt wurde.

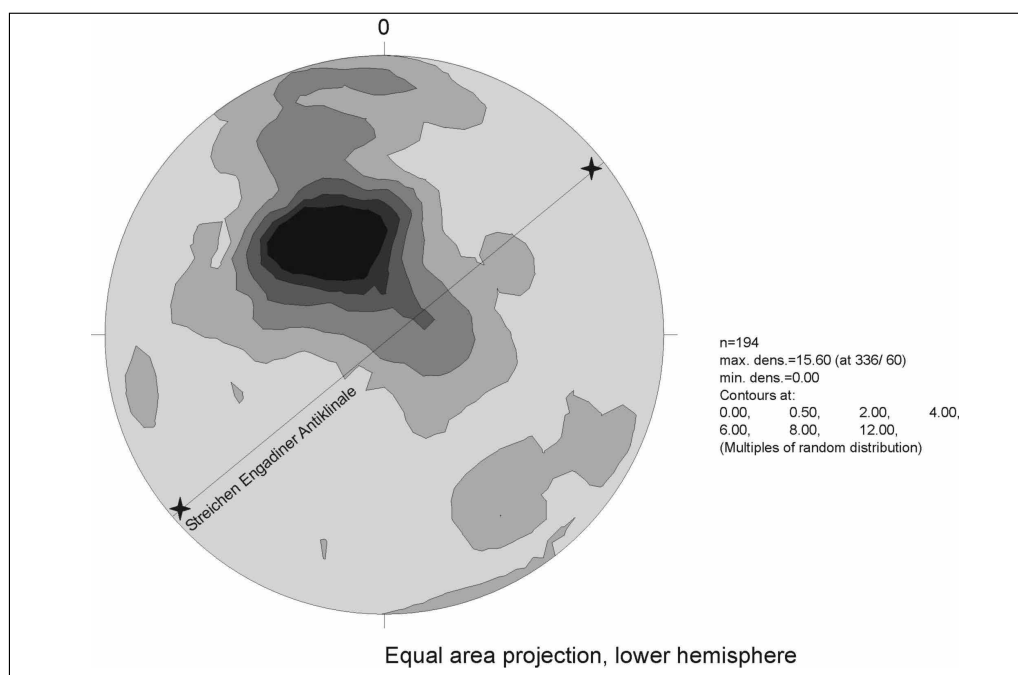


Abb. 2
Lagenkugeldiagramm-Auswertung von 194 gemessenen geologischen Flächen (Schieferungen und Achsialebenschieferungen) aus dem zentralen Unterengadiner Fenster (Region Piz Mundin, Probe BE 47/00).

FI-Typisierung und -daten

Die Arbeiten an den FI wurden mittels eines (Olympus BH2) Mikroskops und eines Heiz-Kühl-Tisches der Firma LINKAM vom Typ THM 600 am Institut für Mineralogie der Universität Wien durchgeführt. Eine genaue Beschreibung des Aufbaues des Heiz-Kühl-Tisches findet sich in SHEPHERD et al. (1985). Die Verwendung der FI als Geothermobarometer hat ihre Grundlage darin, daß Kristalle bei ihrem Wachstum aus einer wässrigen Lösung diese teilweise in kleine Hohlräume innerhalb des Kristalls einschließen. Der Einschluß repräsentiert daher die physiko-chemischen Eigenschaften der Mutterlösung zum Zeitpunkt des Einbaus in den Kristall (vgl. z. B. LEEDER et al., 1987; SHEPHERD et al., 1985; ROEDDER, 1984), wenn er in der ursprünglichen Form (Konstanz der Bildungsdichte) vorliegt. Einschlüsse in kernnäheren (inneren) Bereichen des Kristalls zeigen daher andere Eigenschaften als solche in weiter außen liegenden Zonen des Kristalls. Die Einschlüsse können feste (SOLID), flüssige (LIQUID) oder gasförmige (VAPOUR) Inhaltsstoffe aufweisen. Eine chemische Verbindung (z.B. Wasser) kann in mehreren Zuständen im Kristall eingeschlossen sein. Eine Überführung von einem in einen anderen Zustand (z.B. flüssig in gasförmig) ist durch Veränderung der P-T-Bedingungen möglich. In der Regel wird versucht eine Temperatur-, oder seltener eine Druckbestimmung durchzuführen. Dazu wird über die Schmelz- und Homogenisierungstemperaturen der Chemismus bzw. die Salinität und die Dichte des Einschlusses bestimmt, indem der Einschluß zuerst gekühlt und dann erwärmt wird. Die Abschätzung einer realistischen Bildungstemperatur wird durch die Kenntnis der regionalmetamorphen Entwicklung des Gebietes unterstützt und der Druck in einem Temperatur-Dichte-Diagramm bestimmt (Isochorenmethode). Die Phasendiagramme wurden der Arbeit von LEEDER et al. (1987) entnommen und modifiziert bzw. ergänzt. Die Dichte- bzw. Salinitätsbestimmung erfolgt durch die Bestimmung des Schmelzpunktes (nach Einfrieren und Erwärmen) im NaCl-H₂O-Diagramm bzw. in P-T-ρ-Diagrammen (Druck-Temperatur-Dichte) für wässrige Fluide.

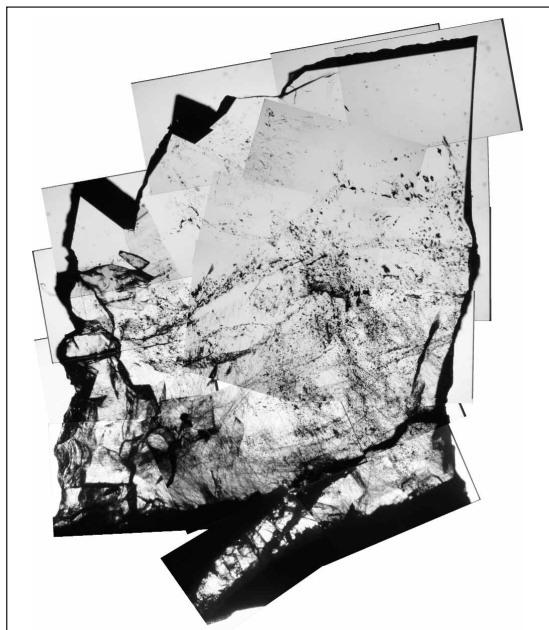


Abb. 3
Zusammengesetztes Bild der FI-Platte BE 47/00-1. Die kürzere Seite der Platte ist ca. 7 mm lang, die Einschlußgröße im Mittel ca. 15 µm.
Der schwarze Bereich am Unterrand der Platte stellt den Kluftwandbereich, bestehend aus Basalt, dar.

Bei alle untersuchten Kristallen ist festzustellen:

- In keinem der untersuchten FI-Schliffe konnten Tochterkristalle innerhalb des Einschlusses festgestellt werden (Abb. 5).
- Sämtliche Kristalle zeigten ein sehr hohe Anzahl von schon dekrepitierten Einschlüssen (Abb. 3, Abb. 4, Abb. 5)
- In vielen Fällen der FI lag bei Raumtemperatur vor dem Heiz-Kühlvorgang nur eine flüssige Phase vor, manche FI sind zweiphasig (mit Gasblase, die sich rasch bewegt). Die Anzahl von schon dekrepitierten FI war sehr hoch. Teilweise konnten "Halostrukturen" gefunden werden, d.h. Einschlüsse, die sich kreisförmig um einen dekrepitierten FI bildeten (s. Abb. 4, obere linke Ecke).

Abb. 4
Detail aus Abb. 3. Linke obere Ecke dekrepitierter FI mit "Halostruktur", unterer Bildrand zeigt einen Trail von primären Einschlüssen. Max. FI-Größe ca. 20 μm .

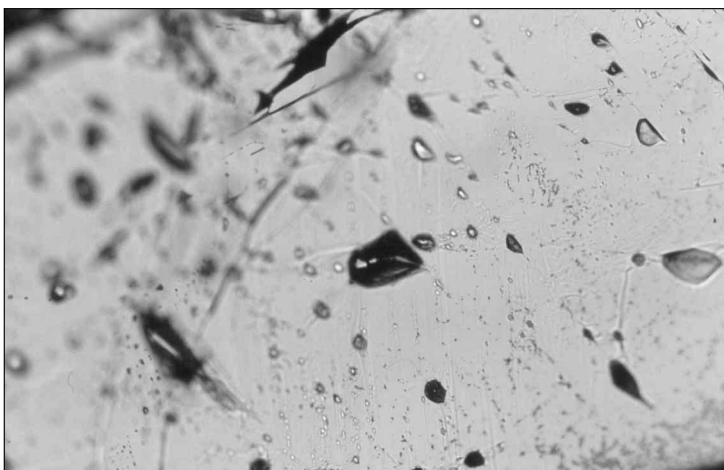
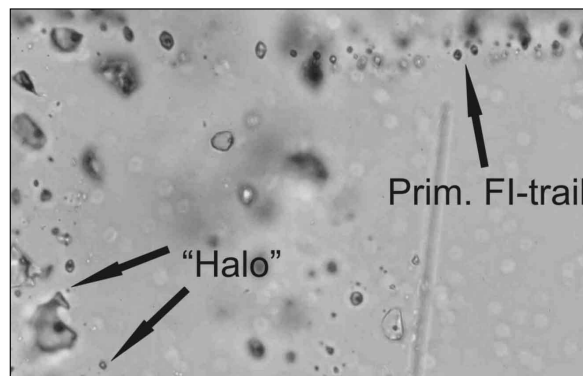


Abb. 5
Primäre FI entlang von Wachstumsgrenzen des Kristalls von Abb.3. Dunkle FI sind dekrepitiert. Max. FI-größe ca. 20 μm .

- Alle pseudosekundären und primären Einschlüsse in BE 36/00 und in der Probe vom Salaaser Kopf waren zwischen -30 und ca. -50°C gefroren (CO₂ konnte damit als Hauptbestandteil der FI mit großer Sicherheit ausgeschlossen werden). Das Erstarren erfolgt in der Regel schlagartig. Öfters ging dieses Erstarren mit einer "Flügelbildung" des FI (= Aufweitung im Kristall) einher (Abb. 6), wohl erklärbar durch die Volumszunahme bei der Phasenumwandlung von flüssig zu fest.

In den meisten Fällen blieben die Einschlüsse bis zum Erreichen der Homogenisierungstemperatur dicht: Beim Auftauen verschwand (verheilte) die Bruchstelle wieder, sodaß eine Volumskonstanz während der Aufheizung als gegeben angenommen werden konnte. Die oben beschriebenen "Flügel" waren meist bei ca. -5°C wieder verschwunden.

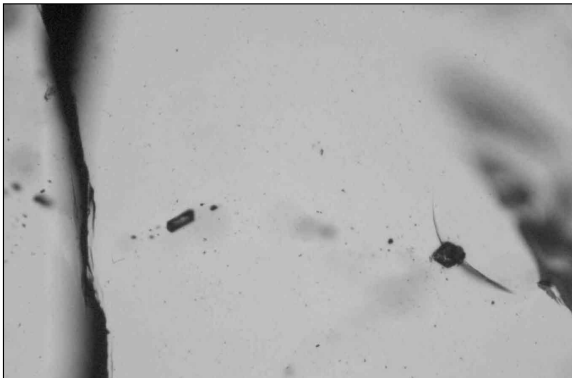


Abb. 6
Primärer Einschuß (Durchmesser ca. $10\ \mu\text{m}$) mit Bruchstruktur (rechts "Flügel"), entstanden durch das Gefrieren des Einschlusses, links unversehrter primärer Einschuß.

- Anzeichen einer Umkristallisation beim Auftauen des festen Einschlusses konnten zwischen -30°C und -15 bis -10°C beobachtet werden, mit einer Häufung bei den höheren Temperaturen.
- Alle Einschlüsse, egal ob primär oder pseudosekundär waren zwischen -1°C und ca. $+1.5^{\circ}\text{C}$ flüssig ($= T_f$). Es liegt damit ein mehr oder weniger reines H_2O -System vor.
- Einschlüsse, die zu Beginn des Friervorganges einphasig-homogen waren, blieben so, d.h. $T_f = T_h$. Die Dichte dieser wässrigen Einschlüsse beträgt daher $1\ \text{g/cm}^3$. Anzeichen für Salinität konnten nicht beobachtet werden.
- Einschlüsse mit Gasblase zu Beginn des Kühl-Heiz-Vorganges bei Raumtemperatur zeigten beim "final melting" wieder eine Gasblase, die zwischen 75 und ca. 150°C homogenisierte (in die flüssige Phase), wobei sich eine deutliche Häufung der T_h -Daten im Bereich 80 bis 85°C einerseits und 100 bis 120°C andererseits zeigte. Einschlüsse mit noch höheren Homogenisierungstemperaturen waren selten und zeigten meist Anzeichen von Volumsänderung (undicht). Die Auswertung der Homogenisierungstemperaturen ergibt auch für maximal gemessene $T_h = 150^{\circ}\text{C}$ eine minimale Dichte von ca. $0.92\ \text{g/cm}^3$ (Abb. 7).
- Manche Einschlüsse dekrepitierten (explodierten) bei Temperaturen über 150°C . Dabei wurden ganz Schliffplatten zerrissen. Wenige Dekrepiationstemperaturen konnten ermittelt werden, die im Bereich zwischen 150 und 190 , selten bis ca. 240°C zu liegen kamen.

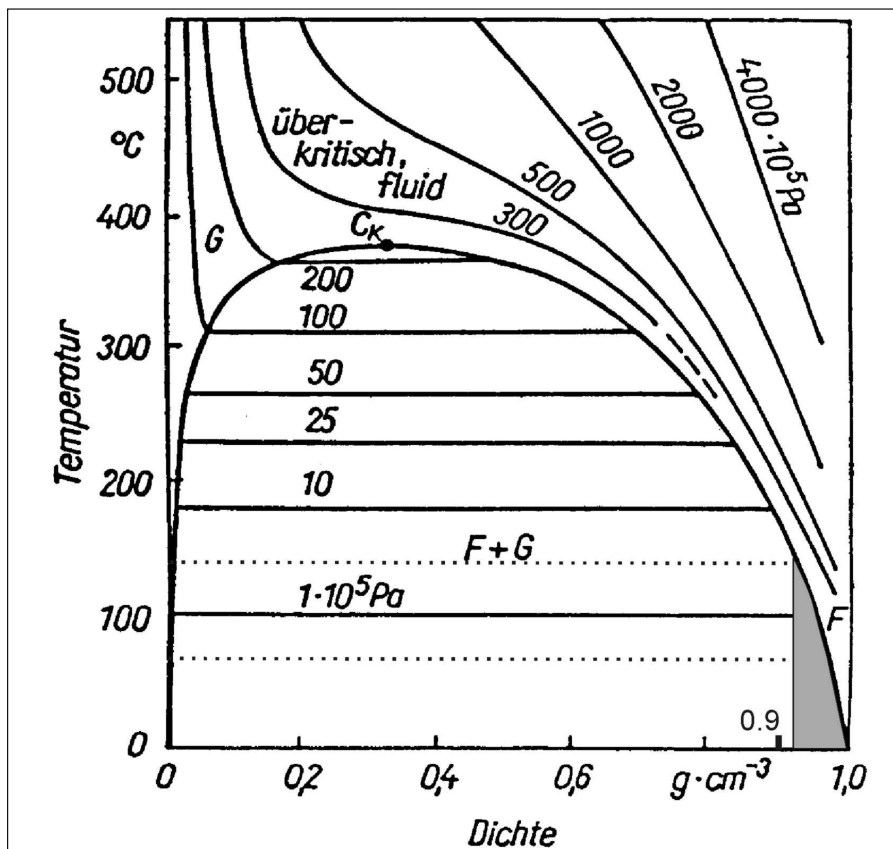


Abb. 7

T- ρ -Diagramm mit Homogenisierungsdaten der FI (Diagramm aus LEEDER et al., 1987).

Datenauswertung und Rückschlüsse

- Die Druckermittlung im P-T- ρ -Diagramm ergibt für die ermittelten Dichten der Einschlüsse bei den angenommenen Einschluß-temperaturen zur Zeit der Kluftbildung (ca. 250°C) recht hohe Drucke. Als Temperaturgrenzen wurden ca. 150 als untere und ca. 250°C als obere Grenze angenommen. Die obere Grenze basiert auf regional-geologischen Überlegungen. Die Richtigkeit der ermittelten Drucke zeigt sich auch daran, daß die Fluideinschlüsse auch bei Raumtemperatur unter hohem Druck stehen. Die "Flügel"-Bildung beim Gefrieren ist eine Folge der hohen Dichte. Die P-Ermittlung wurde mit den oben angenommenen Temperaturen und Dichtewerten (zwischen 0.925 und 1.0 g/cm³) durchgeführt. Die Drucke schwanken zwischen ca. 1.0 und 4.25 Kbar, wobei sich diese große Schwankung durch die Steilheit der Isochoren ergibt (Abb. 8).
- Als durchaus interessantes Detail kann vermerkt werden, daß in allen tektonischen Einheiten und in den verschiedenen Lithologien die Einschlüsse überraschend ähnlich sind, sowohl im Chemismus als auch in den Homogenisierungstemperaturen.

- Bemerkenswert ist ferner, daß alle beobachteten Einschlüsse sehr klein sind; viele der größeren FI zeigen Bilder einer natürlichen Dekrepitation (Abb. 4, 5). Dies ist auf den Umstand rückführbar, daß kleine Einschlüsse gegenüber dem großen Druckunterschied, der sich aus dem Druck zum Zeitpunkt der Einschlußbildung in der Tiefe und dem Umgebungsdruck an der Erdoberfläche ergibt, wesentlich unempfindlicher sind, als große FI (mehr dazu in KÜSTER & STÖCKHERT, 1997 und ROEDDER, 1984).
- Interessant ist ferner, daß es zwischen primären und pseudosekundären FI (fast) keine Unterschiede in den Homogenisierungstemperaturen gibt. Dies könnte ein Hinweis auf schnelles Kristallwachstum in der Tiefe und erst daran anschließender Exhumation oder auf eine Exhumation entlang der Isochore sein.

Die Daten aus den späten diskordanten Klüften des Engadiner Fensters zeigen eine große Homogenität bezüglich Chemismus, Dichte und Aufbau. Dies legt eine einheitliche Entstehungsgeschichte für die verschiedenen Klüfte aus den verschiedenen tektonischen Einheiten nahe. Diese Annahme wird auch durch strukturelle Daten der Klüfte belegt. Die ermittelten Dichten stellen Bildungsdichten dar, eine Volumskonstanz konnte, zumindest für die meisten Messungen, gewährleistet werden.

Interpretation der Ergebnisse

Die ermittelten Drucke sind sehr hoch und belegen die Hochdruck-Niedertemperatur-(HP-LT)-Metamorphose der Fimberzone und der Zone von Pfunds, die schon früher mit anderen thermobarometrischen Methoden erkannt wurde (BOUSQUET et al., 1999; BERTLE et al., 2003c). Die ermittelten FI-Daten stimmen gut mit jenen von STÖCKHERT et al. (1990) und RING (1989) überein. Die späte tektono-metamorphe Entwicklung muß in allen Decken des Engadiner Fensters gleich gewesen sein, ableitbar aus der großen Homogenität der Einschlüsse und ihrer P-T- ρ -Daten. Die Klüfte dürften, aus ihrer Raumlage zu schließen, mit der Aufwölbung des Engadiner Gewölbes in direktem Zusammenhang stehen und vermutlich die metamorphen Bedingungen in der Frühphase der Aufwölbung widerspiegeln. Der Beginn der Aufwölbung fand noch unterhalb des ostalpinen Deckelstapels statt. Bei einer kalkulierten Mächtigkeit der überlagernden ostalpinen Einheiten von ca. 10 km (ca. 4 bis 5 km Mächtigkeit für die Sedimente der Nördlichen Kalkalpen plus gleiche Mächtigkeit für den ostalpinen Sockel der Silvrettadecke) würde sich ein lithostatischer Druck von ca. 3 kbar ergeben.

Im Zusammenhang mit den untersuchten Vorkommen im Engadin ist besonders eine Arbeit von KÜSTER & STÖCKHERT (1997) interessant, die FI in Quarz aus der Quarzphylliteinheit Kretas (ebenfalls ein HP-LT-Vorkommen mit Carpholithparagenesen) untersucht haben. Auf Grund rheologischer Überlegungen kommen die Autoren zum Schluß, daß das "trapping of fluids" in Quarz unterhalb einer Temperatur von 300°C stattgefunden haben muß. Oberhalb dieser Temperatur können Einschlüsse auf Grund der plastischen Deformation des Mineralkorns ihre ursprüngliche, originale Dichte nicht behalten (Volumsänderung des Einschlusses!!). KÜSTER & STÖCKHERT (1997) kommen für den Fall Kreta zum Schluß, daß die von ihnen untersuchten Einschlüsse in einer Tiefe von ca. 10 km gebildet worden sein müßten. Der grau schattierte Bereich gibt die P-T-Bedingungen für den späten Exhumationspfad der Gesteine des Unter-

engadiner Fensters, ermittelt mit FI-Bestimmungen an Kluftquarzen wieder. Der ermittelte Pfad ist ähnlich jenem, den KÜSTER & STÖCKHERT (1997) für Kreta vorschlagen.

Die breite Streuung der ermittelte Drucke der FI (4.25 bis 1 kbar, s. Abb. 8) dürfte auf eine Abkühlgeschichte der untersuchten Proben entlang der Isochoren zurückzuführen sein. Kombiniert man die Daten der FI-untersuchungen mit den durch thermobarometrische Berechnungen (LEIMSER & PURTSCHELLER, 1980; BOUSQUET, 1998; BOUSQUET et al., 1999) ermittelten P-T-Bedingungen ergibt sich der Schluß, daß die Bildung der FI nach einer fast isothermalen Dekompression erfolgt sein muß, wie sie in Subduktionsregimen typischerweise angetroffen werden. Nach kurzer Platznahme und vermutlicher Anschuppung der exhumierten Gesteine unterhalb des ostalpinen "Deckels" kam es dann zur Aufwölbung des Engadiner Gewölbes und damit verbundener, vermutlich linearer Exhumation ($dT/dP = \text{konst.}$) des gesamten Deckenstapels. Da schon im Sarmat die ersten Pseudotachylite von der Basis der Silvrettaecke in der bayerischen Molasse geschüttet werden (GRAUL, 1939; MATTMÜLLER, 1999) und die HP-Metamorphose im UEF vermutlich im Bereich 35 bis 40 Ma stattfand (THÖNI, 1999; BERTLE et al., 2003a), muß die isothermale Dekompression und lineare Exhumation in einem Zeitraum von ca. 20 Ma stattgefunden haben. Dies entspricht einer mittleren Exhumationsrate von ca. 0.5 kbar/Ma und liegt im Bereich jener Werte, die für andere HP-Gesteine mit anderen Methoden ermittelt werden konnten.

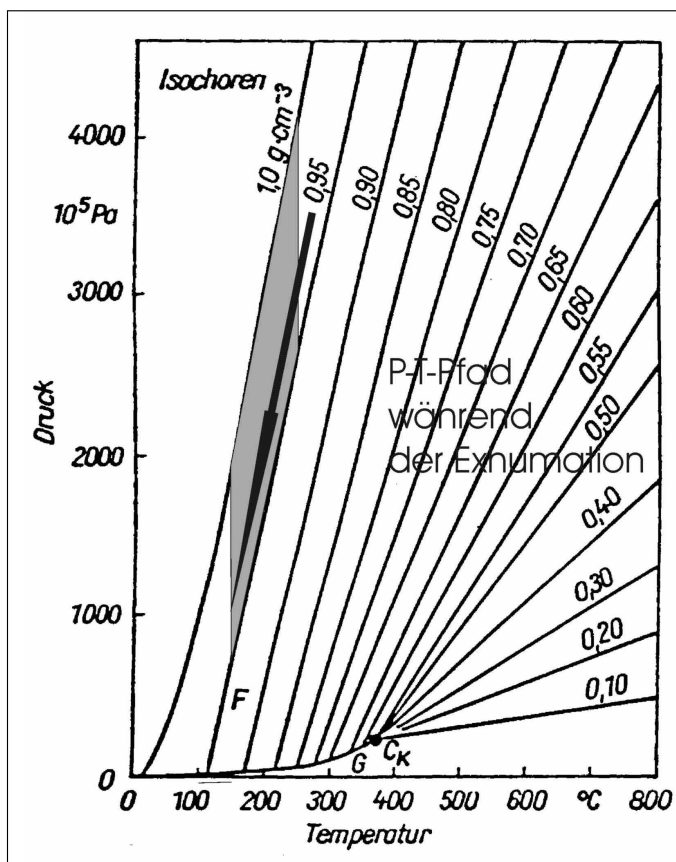


Abb. 8
P-T-Diagramm des Systems
H₂O (aus LEEDER et al., 1987)
mit den FI-Daten.

Literatur

- BERTLE, R. J. (2000): Zur Geologie und Geochronologie um Alp Trida (Samnaun/Schweiz) einschließlich ingenieurgeologischer Fragen der Gebirgsauflösung und des Permafrosts. - Unveröffentl. Dipl.-Arb. Univ. Wien, 395 S.
- BERTLE, R. J. (2002): Kreide und Paläogen in der Fimber-Zone (Unterengadiner Fenster, Schweiz - Österreich). Neue Mikrofossilfunde & deren paläogeographische Bedeutung. - *Ecol. geol. Helv.*, 95, S. 153-167.
- BERTLE, R. J., FRANK, W., SEWARD, D., JELENC, M., THÖNI, M. & KOLLER, F. (2003a): New age constraints on alpine metamorphism of the schistes lustrés of the Engadine window based on Ar-Ar, Rb-Sr and Fission Track dating. - *Geophysical Research Abstr.*, Vol.5, Nr. 14178.
- BERTLE, R. J., GÖTZINGER, M. A. & KOLLER, F. (2003b): FI investigations on the HP-rocks from the Lower Engadine window - new insights on its late tectono-metamorphic evolution. - *Geophysical Research Abstr.*, Vol.5, Nr. 14175.
- BERTLE, R. J., KOLLER, F. & FRANK, W. (2003c): New petrological data on the HP-rocks of the Zone of Pfunds (Lower Engadine Window, Switzerland/Austria). - *Geophysical Research Abstr.*, Vol.5, Nr. 14170.
- BOUSQUET, R., OBERHÄNSLI, R., GOFFÉ, B., JOLIVET, L. & VIDAL, O. (1999): High pressure - low temperature metamorphism and deformation in the Bündnerschiefer of the Engadine window: Implications for the regional evolution of the eastern Central Alps. - *Journ. Metamorphic Geology*, 17, S. 657-674.
- BOUSQUET, R. (1998): L'exhumation des roches métamorphiques de haute pression - basse température: de l'étude de terrain à la modélisation numérique. Exemple de la fenêtre de l'Engadine et du domaine valaisan dans les Alpes Centrales. - Orsay N° D'Ordre: 5422. Diss. Université de Paris XI - Orsay.
- FUCHS, G. & OBERHAUSER, R. (1990): Geologische Karte der Republik Österreich 1 : 50.000, Blatt 170 Galtür. - Geol. B.-A., Wien 1990.
- HAMMER, W. (1923): Geologische Spezialkarte der Republik Österreich. Blatt Nauders (5245) 1 : 75.000. - Geol.B.A. (mit Erläuterungen, 62 S.), Wien 1923.
- GRAUL, H. (1939): Schotteranalytische Untersuchungen im oberdeutschen Tertiärhügelland. - *Abh. Bayer. Akad. Wiss., N. F.*, 46, München 1939.
- HEUGEL, W. 1975: Die Ophiolithe des Piz Mundin (Unterengadin). - Unveröff. Dipl.Arb. Univ. Bern.
- KÜSTER, M. & STÖCKHERT, B. (1997): Density changes of fluid inclusions in high-pressure low-temperature metamorphic rocks from Crete: A thermobarometric approach based on the creep strength of the host minerals. - *Lithos*, 41, S. 151-167.
- LEEDER, O., THOMAS, R. & KLEMM, W. (1987): Einschlüsse in Mineralen. - F. Enke Verlag Stuttgart, 180 S.
- LEIMSER, W. & PURTSCHELLER, F. (1980): Beiträge zur Metamorphose von Metavulkaniten im Pennin des Engadiner Fensters. - *Mitt. österr. Geol. Ges.*, 71/72, S. 129-137, Wien 1980.
- MATTMÜLLER, C. R. (1999): Strukturen des Engadiner Fensters. - Unveröff. Dissertation RWTH Aachen, 397 S., Aachen.
- MATTMÜLLER, C. R. (1996): Geometrische Untersuchung des Inntalgebölges. - *Jahrb. Geol. B.-A.*, 139/1, S. 45-69, Wien 1996.
- MATTMÜLLER, C. R. (1993): Strukturatlas des Engadiner Fensters, 38 S., 34 Karten -Tübingen 1993.
- OBERHAUSER, R. (1995): Zur Kenntnis der Tektonik und der Paläogeographie des Ostalpenraumes zur Kreide-, Paleozän- und Eozänzeit. - *Jahrb. Geol. B.-A.*, 138/2, S. 369-432, Wien 1995.
- RING, U. 1989: Tectonogenesis of the Penninic/Austroalpine Boundary Zone: The Arosa Zone (Grisons - Rätikon area, Swiss-Austrian Alps). - Unpubl. Dissertation., 177 S., Tübingen.
- ROEDDER, E. (1984): Fluid Inclusions. - *Rev. in Mineralogy*, vol. 12, Min. Soc. Amer., Washington, 644 S.

- SHEPHERD, T. J., RANKIN, A. H. & ALDERTON, D. H. M. (1985): A practical guide to Fluid Inclusions studies.
- Blackie & Son Ltd., Glasgow, 239 S.
- STOECKHERT, B., RÖSSNER, G., KÜSTER, M., HEIDER, M., GUNDLACH, K. & RICHTER, D. K. (1990):
High-Pressure Metamorphism of the Mesozoic Sediments in the Lower Engadine Window, Eastern Alps.
- Terra Abstracts, 2, S. 34, 1990.
- THÖNI, M. (1999): A review of geochronological data from the Eastern Alps. - Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.,
79/1, S. 209-230.
- TOLLMANN, A. (1987): Neue Wege in der Ostalpengeologie und die Beziehungen zum Ostmediterrän. - Mitt.
österreich. geol. Ges., 80, S. 47-113.

bei der Redaktion eingegangen: 4. April 2003

Manuskript angenommen: 7. April 2003