

Neue Daten zur Genese alpiner Zerrklüfte

Georg Kandutsch, Katharina Hasenberger & Elisabeth Ch. Kirchner

Eingelangt am 16.04.1998

1 Zusammenfassung

Alpine Zerrklüfte sind Hohlräume, die während der Hebung von Gesteinsstapeln entstehen und meist senkrecht zur Deformationsrichtung situiert sind. Sie sind über weite Bereiche tektonisch beanspruchter Gesteine zu finden. Die während der Zerrung entstandenen Hohlräume wurden mit einer hydrothermalen Flüssigkeit gefüllt, aus der in einer Spätphase der Metamorphose (abklingende oder retrograde Metamorphose) die gelösten Stoffe langsam auskristallisierten. Eine sehr häufige Füllung stellen Bergkristalle und Rauchquarze dar.

In dieser Arbeit wurde die Richtung der alpinen Zerrklüfte (ca. 500) über einen Teil des Tauernfensters eingemessen und in eine geologischen Karte eingetragen. Die Kluftrichtungen zeigen über einen Großteil des Untersuchungsgebietes einheitliches NE-SW-Streichen mit Ausnahme des Bereichs der Mallnitzer Mulde, wo NW-SE-Streichen festgestellt wurde.

Weiters wurden die in den Quarzen eingeschlossenen Fluide gemessen. Sie entsprechen der Zusammensetzung der Ausgangslösung zur Mineralbildung zum Zeitpunkt der Kristallisation. Dazu diente die Mikrothermometrie mittels eines Mikroskops mit Heiz- und Kühltisch. Diese ermöglicht die Bestimmung der Zusammensetzung der Fluide, aber auch der Temperatur T_H (druckabhängig), die während der Bildung der Quarze geherrscht hat. Derartige mikrothermometrische Messungen an 50 Quarzkristallen aus 35 Zerrklüften ergaben zwei Gruppen von Fluideinschlüssen. Kristalle mit prismatischem Habitus enthielten wäßrige Lösungen mit unterschiedlichem NaCl-Gehalt, Einschlüsse in spitzrhomboedrischen Kristallen CO_2 . Daraus kann geschlossen werden, daß die Zusammensetzung der Einschlüsse unabhängig vom Nebengestein und von der tektonischen Richtung der Zerrklüfte ist. Es konnte in keinem der untersuchten Kristalle eine zonare Änderung der Zusammensetzung und/oder der T_H -Werte von der Basis zur Spitze bzw. von innen nach außen festgestellt werden, wie es von Lamellenquarzen bekannt ist. Untersuchungen an Kluf кварzen aus den Schweizer Alpen zeigen vergleichbare Werte. Allerdings wurden hier hauptsächlich die rasch wachsenden Lamellenquarze gemessen, die in dieser Arbeit nicht berücksichtigt wurden. Insofern ist ein direkter Vergleich nicht möglich. Die in dieser Arbeit gemessenen Quarze sind jene, die zuerst kristallisierten, sie können für eine Altersfolge oder einen Temperaturpfad nicht herangezogen werden.

2 Summary

New data on the genesis of alpine fissures

Alpine fissures are cavities, which develop during the uplift of rock stacks and which are generally situated perpendicular to the direction of deformation. They can be found over wide areas of tectonically stressed rocks. The cavities which have been created during the extension were filled with hydrothermal fluids from which in a late phase of metamorphosis (retrogressive or retrograde metamorphosis) the solvated matter slowly crystallized. Colorless quartz or smoky quartz represent a very common filling.

In this work the direction of the alpine fissures (ca. 500) of a part of the Tauern Window were measured and recorded in a geologic map. The direction of the fissures show a uniform NE-SW-stretch over the major part of the research area, except the area of Mallnitzer Mulde, where an NW-SE-stretch was determined.

Additionally, the fluids included in the quartz were measured. They correspond with the composition of the initial solution for crystal growth at the moment of crystallization. For that purpose microthermometry was applied, which consists of a microscope with heating and freezing stages. This makes the determination of the composition of the fluids possible, but also allows one to find out the temperature T_H (pressure dependent) during the growth of the quartz. These microthermometric measurements were carried out on 50 quartz crystals from 35 alpine fissures which resulted in two groups of fluid inclusions. Crystals with prismatic habit included aqueous solutions with variable NaCl-content. Inclusions in acute rhombohedral crystals contain CO_2 . The composition of the inclusions is independent of the host rock and of the tectonic direction of the alpine fissures. In none of the investigated crystals a zonal alteration in the composition and/or the T_H -values from base to apex respectively from outside to the inside could be detected as it was shown on lamellar quartz. Investigations on fissure quartz from the Swiss Alps show comparable values however, mainly the quickly growing lamellar quartzes have been measured there, which were not considered in this work. Thus a direct comparison is not possible. The quartz types measured

in the Swiss Alps are those which have crystallized earlier and therefore cannot be cited for a chronological or temperature path.

3 Keywords

Tauern Window, alpine fissures, quartz crystals, quartz morphology, fluid inclusions

4 Einleitung

Die im Tauernfenster auftretenden Gesteinsprovinzen wurden nach einem der letzten Metamorphoseakte gehoben und dabei deformiert. In Zerrungszonen bildeten sich Hohlräume Klüfte -, die mit hydrothermalen, also wäßrigen Lösungen gefüllt wurden. Aus diesen Lösungen kristallisierten in bestimmten Reihenfolgen abhängig von der Zusammensetzung der Lösung, der Temperatur und dem Druck Minerale in bemerkenswerten Ausbildungen und Größen. Während der Kristallisation wurden Anteile der Flüssigkeit bzw. des vorhandenen Gases eingeschlossen. Eines der häufigsten Minerale der Region ist der Quarz var. Bergkristall. Neben diesem finden sich Minerale der Feldspatgruppe und eine Reihe weiterer Minerale.

Eine Methode zur Bestimmung der Bildungsbedingungen ist die Mikrothermometrie. Dabei kann aus den Gefrier- und Schmelzpunkten der Gase und Flüssigkeiten auf die Bildungstemperatur oder den -druck geschlossen werden. Derartige Messungen wurden an etwa 50 Quarzen aus Zerrklüften der Tauernregion durchgeführt.

Ein Zusammenhang von Kristallformen (Habitusunterschieden) der Bergkristalle aus Zerrklüften der Hohen Tauern und den Metamorphosebedingungen wurde von KANDUTSCH (1989) über langjährige Beobachtungen im Tauernfenster festgestellt. NIEDERMAYR (1993) bestätigt, daß sich die Verbreitungsgebiete der Habitusarten im Gelände nicht überschneiden. Diese Beobachtungen sollten nun mit Untersuchungen an Einschlüssen in Bergkristallen, den "Fluid Inclusions", überprüft werden. In den Schweizer Alpen wurden bereits derartige Messungen durchgeführt (MULLIS 1983, 1991, POTY et al. 1974, STALDER & VOLLENWEIDER 1987), allerdings hauptsächlich an den rasch wachsenden Lamellenquarzen, die in dieser Arbeit nicht berücksichtigt wurden, sodaß kein direkter Vergleich möglich ist.

Um der Fragestellung einer Abhängigkeit der Kluftrichtung zu unterschiedlichen Bewegungsbahnen während der Hebung der Alpen nachzugehen, wurden Klüfte über weite Bereiche vermessen und die in diesen festgestellten Mineralinhalte nach ihrer Kristallisationsfolge aufgenommen.

4.1 Die Morphologie alpiner Kluftquarze

In den Hohen Tauern werden, wie auch in den Schweizer Alpen (RYKART 1995, MULLIS 1991), zwei Wachstumsformen der Quarze beschrieben, die sich für eine Unterscheidung der Wachstumsbedingungen am besten eignen. Diese Formen können makroskopisch unterschieden werden:

1. *Quarze mit Makromosaikbau* (Friedlaender Quarze) sind langsam und in ruhigem Milieu gewachsen und an den Suturen auf den Prismenflächen zu erkennen.
2. *Quarze mit Lamellenbau* (Bambauer Quarze) zeichnen sich durch rasches Wachstum in unruhigem Bildungsmilieu aus und sind langprismatisch bis nadelig ausgebildet (BAMBAUER et al. 1961).

Diese Zuordnung der Quarze beruht auf dem unterschiedlichen Innenbau der Kristalle.

Die zur Untersuchung herangezogenen Quarze mit Makromosaikbau werden nach KANDUTSCH (1989, 1993) entsprechend ihrem Habitus in *Quarze mit prismatischem Habitus* und *Quarze mit spitzrhomboedrischem Habitus* (Abb.1) weiter untergliedert. Die zur Unterscheidung verwendete steile Rhomboederfläche bewirkt bei Kristallen mit spitzrhomboedrischem Habitus eine deutliche Verjüngung zur Spitze hin. Bei Kristallen mit prismatischem Habitus ist die steile Rhomboederfläche nur als Ergänzungsfläche zwischen den Prismen- und Trapezoederflächen ausgebildet.

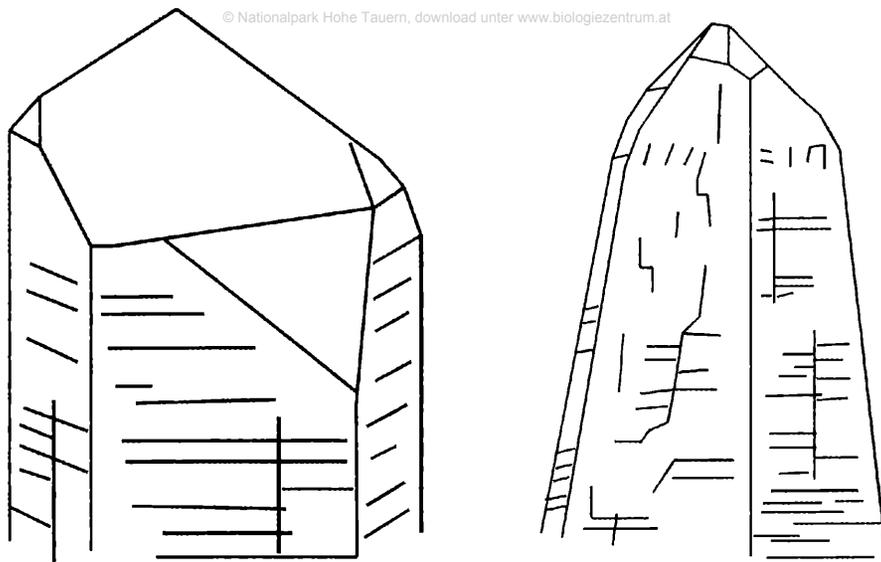


Abb. 1: Quarzkristall mit prismatischem Habitus von Innergschlöß, Venedigergruppe (links), und mit spitzrhomboedrischem Habitus (Tessin-Habitus) vom Hocharn, Großes Fleißtal, Goldberggruppe (rechts)

Fig. 1: Quartz crystal with prismatic habit from Innergschlöß, Venediger-group (left), and with acute rhombohedral habit (Tessin habit) from Hocharn, Great Fleißvalley, Goldberg-group (right)

Proben-nummer	Fundort	Muttergestein	Einschluß-art	Koordinaten RMOK
2	Zwölferkogel Habachtal Venedigergruppe	Zentralgneis	H ₂ O	o.k.
46	Wiesbachrinne Habachtal Venedigergruppe	Zentralgneis	H ₂ O	o.k.
69	Schwarzes Hörndl Obersulzbachtal Venedigergruppe	Zentralgneis	H ₂ O	o.k.
76	Knorrkogel Innergschlöß Venedigergruppe	Zentralgneis	H ₂ O	o.k.
52	Pifanghütte Teischnitztal Glocknergruppe	Grünschiefer	H ₂ O	4022 x: -50600 y: 212100
75	Diabalgraben Zederhaus Radstädter Tauern	Chloritschiefer	H ₂ O	o.k.
78	Ellmautal Radstädter Tauern	Marmor	H ₂ O	o.k.
79	Krähhalm Großarlal Hafnergruppe	Grünschiefer	H ₂ O	o.k.

Tab. 1: Fundorte und Muttergesteine von Quarzen mit prismatischem Habitus; Abkürzungen: RMOK = Kärntner Raumordnungskataster 1:20000 (Angabe der Karten-Nummer), x, y = Gauß-Krüger-Koordinaten, o.k. = ohne Koordinaten

Table 1: List of collecting sites and host rocks of quartz with prismatic habit; abbreviations: RMOK = land register of Carinthia, x, y = Gauss-Krüger-co-ordinates, o.k. = without co-ordinates

Probennummer	Fundort	Muttergestein	Einschlußart	Koordinaten RMOK
1	Gamskar Grieswiesalm Goldberggruppe	Kalkglimmerschiefer, Untere Schieferhülle	CO ₂	o.k.
9	Sandkopf Kl. Fleißtal Goldberggruppe	Kalkglimmerschiefer, oberer Horizont, Untere Schieferhülle	CO ₂ H ₂ O	4222 x: -30600 y: 211100
10	Sandkopf Kl. Fleißtal Goldberggruppe	Amphibolit Chloritschiefer	CO ₂ H ₂ O	4222 x: -30650 y: 211080
21	Sandkopf Kl. Fleißtal Goldberggruppe	Glimmerschiefer Untere Schieferhülle	CO ₂ H ₂ O	4222 x: -30500 y: 211000
54	Biwakschachtel Gr. Fleißtal Goldberggruppe	Graphithältiger Kalkglimmerschiefer	CO ₂ H ₂ O	4222 x: -30690 y: 215680
77	Radhausberg Gastein Goldberggruppe	Zentralgneis	CO ₂ H ₂ O	4222 x: -18000 y: 213000
4	NE Schober Eissig, 2900 m Pöllatal Hafnergruppe	Amphibolit	CO ₂ H ₂ O	4721 o.k.
7	Schwarzkopf Anlaufstal Ankogelgruppe	Amphibolit	CO ₂ H ₂ O	4522 x: -6800 y: 212850
19	Gößgraben Maltatal Ankogelgruppe	Zentralgneis	CO ₂ H ₂ O	4621 x: -8250 y: 215600
73	Romatenspitze Ankogelgruppe	Syenitgneise	CO ₂ H ₂ O	4421 x: -20980 y: 215400
35	Sedl Habachtal Venedigergruppe	Glimmerschiefer	CO ₂ H ₂ O	o.k.

Tab. 2: Fundorte und Muttergesteine von Quarzen mit spitzrhomboedrischem Habitus (Tessin-Habitus); Abkürzungen siehe Tab. 1

Table 2: List of collecting sites and host rocks of quartz with acute rhombohedral habit (Tessin habit); abbreviations see table 1

5 Material und Methoden

Das Probenmaterial für die Untersuchungen der Bergkristalleinschlüsse erstreckt sich auf das gesamte Gebiet des Tauernfensters und hing wesentlich von der Dichte der Zerrklüfte ab, während sich die genaue Einmessung der Kluftrichtungen auf den südöstlichen Teil des Tauernfensters beschränkte. Die Probenahmestellen sind in den Tabellen 1 und 2 angeführt, die Funde der Kärntner Seite wurden in Karten des Kärntner Raumordnungskatasters 1:20000 eingetragen, weiters sind teilweise die Gauß-Krüger-Koordinaten angegeben.

5.1 Probenahme

Bei der Auswahl der Proben zur mikrothermometrischen Untersuchung wurde darauf geachtet, geographisch und geologisch einen möglichst weiten Bereich abzudecken. Prismatische Kristalle wurden in Zentralgneis, Schiefen der Schieferhülle und Marmor gefunden, spitzrhomboedrische

Kristalle ebenfalls in Zentralgneis und Schiefern der Schieferhülle sowie in Amphiboliten, wobei in manchen Fällen ein Wechsel der Habitusarten im Kilometerbereich zu beobachten war (Habachtal).

Zur Abschätzung der Bildungsbedingungen alpiner Quarzkristalle ist eine Korrelation zu alpinen Metamorphosedaten notwendig (HÖCK 1980, HÖCK et al. 1994, HOERNES & FRIEDRICHSEN 1974). Die Homogenisierungstemperatur der Flüssigkeitseinschlüsse in den Quarzen gibt damit theoretisch auch den Minimalwert der Metamorphose im umliegenden Gestein an. Für Temperaturen, die über den Bedingungen der Grünschieferfazies liegen, muß eine entsprechende Überprägung der Gesteine angenommen werden.

Das Probenmaterial der gemessenen Kristalle bzw. der doppelt polierten Schlitze wird im Institut für Mineralogie der Universität Salzburg aufbewahrt.

5.2 Auswertung der Paragenesen und des Nebengesteins der Klüfte

Es kann bereits durch die Untersuchung der Mineralparagenesen in einer Kluft eine Abschätzung des Metamorphosegrades vorgenommen werden. Als Hinweis auf höhere Temperaturen gelten Plagioklas im Periklinitypus, Kalifeldspat im Fibbitypus und Chlorit als Pennin. Tiefer temperiert sind Plagioklas als Albit und Kalifeldspäte im Adulartypus. Voraussetzung für solche Beobachtungen ist dabei die Bildung dieser Minerale innerhalb einer normalen Sukzession, wobei Quarz nicht immer als Erstkristallit gebildet wird. Bilden sich diese Minerale zu verschiedenen Zeiten als eigene Generation, sind sie für die Temperaturabschätzung einer ersten Kristallisation in einer Kluft nicht brauchbar (z.B. eine zweite Adulargeneration auf spitzrhomboedrischen Quarzkristallen). Ebenso kann ein Quarzkristall nur dann aussagekräftig sein, wenn seine Bildung einer ungestörten Kristallisationsfolge entspricht. Die Paragenesenfolge ist sehr wohl vom umgebendem Gestein abhängig, so kristallisiert im Plattengneis der Roßalm der Quarz auf Hellglimmer, im Biotitschiefer der Riekenalm auf Biotit. Im Prasinit vom Törlkopf finden sich vor der Quarzkristallisation Ilmenit, Periklin gefolgt von Calcit. Erst auf diesen kristallisiert Quarz. Eine übersichtliche Zusammenstellung der Mineralparagenesen in alpinen Zerrklüften wird von NIEDERMAYR (1993) präsentiert.

5.3 Analytik: Mikrothermometrische Untersuchungen an Kluftquarzen

Die Flüssigkeitseinschlüsse der Kristalle wurden mittels Mikrothermometrie auf die Zusammensetzung der Fluide und die Homogenisierungstemperaturen untersucht. Die Messungen wurden an einem Linkam THMSG600 Heiz-Kühltisch durchgeführt, Korrekturen erfolgten mit der Software FLINCOR von BROWN & HAGEMANN (1995), die methodische Unterstützung kam von POTY et al. (1974), ROEDDER 1984, SHEPHERD et. al. 1985 und STALDER & VOLLENWEIDER 1987. Alle Proben wurden systematisch nach der Lage der Einschlüsse im Kristall gemessen, um eine eventuelle Zonierung erkennen zu können. Die Einschlüsse in alpinen Quarzen kommen sowohl in Trails innerhalb des Kristalls als auch in Clustern vor. Mehrere Einschlußgenerationen entlang von Trails wurden des öfteren festgestellt, wobei die eindeutig sekundären Einschlüsse nicht berücksichtigt wurden. Alle gemessenen und ausgewerteten Einschlüsse können als primär und pseudosekundär bezeichnet werden. Es können nur bedingt Vergleiche mit anderen mikrothermometrischen Untersuchungen in den Ostalpen gezogen werden, da in diesen Arbeiten, z.B. LUCKSCHEIDTER & MORTEANI (1980) oder WENINGER (1981) keine Unterscheidung zwischen Kluft- und Gesteinsquarzen vorgenommen wurde und sich auch kein Hinweis auf die Morphologie der Kristalle finden läßt. Für einige Gebiete gibt es eine gewisse Übereinstimmung der Daten.

6 Ergebnisse

6.1 Erfassung der Kluftrichtungen im südöstlichen Teil des Tauernfensters

Die Erfassung der räumlichen Position der Zerrklüfte war eine der Untersuchungen, aus denen Hinweise zum Aufreißen der Klüfte bzw. sogar eine zeitliche Folge dieses Vorganges erwartet

Probennummer	Fundort	Muttergestein	Einschlußart	Koordinaten RMOK
1	Gamskar Grieswiesalm Goldberggruppe	Kalkglimmerschiefer, Untere Schieferhülle	CO ₂	o.k.
9	Sandkopf Kl. Fleißtal Goldberggruppe	Kalkglimmerschiefer, oberer Horizont, Untere Schieferhülle	CO ₂ H ₂ O	4222 x: -30600 y: 211100
10	Sandkopf Kl. Fleißtal Goldberggruppe	Amphibolit Chloritschiefer	CO ₂ H ₂ O	4222 x: -30650 y: 211080
21	Sandkopf Kl. Fleißtal Goldberggruppe	Glimmerschiefer Untere Schieferhülle	CO ₂ H ₂ O	4222 x: -30500 y: 211000
54	Biwakschachtel Gr. Fleißtal Goldberggruppe	Graphithältiger Kalkglimmerschiefer	CO ₂ H ₂ O	4222 x: -30690 y: 215680
77	Radhausberg Gastein Goldberggruppe	Zentralgneis	CO ₂ H ₂ O	4222 x: -18000 y: 213000
4	NE Schober Eissig, 2900 m Pöllatal Hafnergruppe	Amphibolit	CO ₂ H ₂ O	4721 o.k.
7	Schwarzkopf Anlaufstal Ankogelgruppe	Amphibolit	CO ₂ H ₂ O	4522 x: -6800 y: 212850
19	Gößgraben Maltatal Ankogelgruppe	Zentralgneis	CO ₂ H ₂ O	4621 x: -8250 y: 215600
73	Romatenspitze Ankogelgruppe	Syenitgneise	CO ₂ H ₂ O	4421 x: -20980 y: 215400
35	Sedl Habachtal Venedigergruppe	Glimmerschiefer	CO ₂ H ₂ O	o.k.

Tab. 2: Fundorte und Muttergesteine von Quarzen mit spitzrhomboedrischem Habitus (Tessin-Habitus); Abkürzungen siehe Tab. 1

Table 2: List of collecting sites and host rocks of quartz with acute rhombohedral habit (Tessin habit); abbreviations see table 1

5 Material und Methoden

Das Probenmaterial für die Untersuchungen der Bergkristalleinschlüsse erstreckt sich auf das gesamte Gebiet des Tauernfensters und hing wesentlich von der Dichte der Zerrklüfte ab, während sich die genaue Einmessung der Kluftrichtungen auf den südöstlichen Teil des Tauernfensters beschränkte. Die Probenahmestellen sind in den Tabellen 1 und 2 angeführt, die Funde der Kärntner Seite wurden in Karten des Kärntner Raumordnungskatasters 1:20000 eingetragen, weiters sind teilweise die Gauß-Krüger-Koordinaten angegeben.

5.1 Probenahme

Bei der Auswahl der Proben zur mikrothermometrischen Untersuchung wurde darauf geachtet, geographisch und geologisch einen möglichst weiten Bereich abzudecken. Prismatische Kristalle wurden in Zentralgneis, Schiefen der Schieferhülle und Marmor gefunden, spitzrhomboedrische

Kristalle ebenfalls in Zentralgneis und Schiefern der Schieferhülle sowie in Amphiboliten, wobei in manchen Fällen ein Wechsel der Habitusarten im Kilometerbereich zu beobachten war (Habachtal).

Zur Abschätzung der Bildungsbedingungen alpiner Quarzkristalle ist eine Korrelation zu alpinen Metamorphosedaten notwendig (HÖCK 1980, HÖCK et al. 1994, HOERNES & FRIEDRICHSEN 1974). Die Homogenisierungstemperatur der Flüssigkeitseinschlüsse in den Quarzen gibt damit theoretisch auch den Minimalwert der Metamorphose im umliegenden Gestein an. Für Temperaturen, die über den Bedingungen der Grünschieferfazies liegen, muß eine entsprechende Überprägung der Gesteine angenommen werden.

Das Probenmaterial der gemessenen Kristalle bzw. der doppelt polierten Schlitze wird im Institut für Mineralogie der Universität Salzburg aufbewahrt.

5.2 Auswertung der Paragenesen und des Nebengesteins der Klüfte

Es kann bereits durch die Untersuchung der Mineralparagenesen in einer Kluft eine Abschätzung des Metamorphosegrades vorgenommen werden. Als Hinweis auf höhere Temperaturen gelten Plagioklas im Periklinitypus, Kalifeldspat im Fibbitypus und Chlorit als Pennin. Tiefer temperiert sind Plagioklas als Albit und Kalifeldspäte im Adulartypus. Voraussetzung für solche Beobachtungen ist dabei die Bildung dieser Minerale innerhalb einer normalen Sukzession, wobei Quarz nicht immer als Erstkristallit gebildet wird. Bilden sich diese Minerale zu verschiedenen Zeiten als eigene Generation, sind sie für die Temperaturabschätzung einer ersten Kristallisation in einer Kluft nicht brauchbar (z.B. eine zweite Adulargeneration auf spitzrhomboedrischen Quarzkristallen). Ebenso kann ein Quarzkristall nur dann aussagekräftig sein, wenn seine Bildung einer ungestörten Kristallisationsfolge entspricht. Die Paragenesenfolge ist sehr wohl vom umgebendem Gestein abhängig, so kristallisiert im Plattengneis der Roßalm der Quarz auf Hellglimmer, im Biotitschiefer der Riekenalm auf Biotit. Im Prasinit vom Törlkopf finden sich vor der Quarzkristallisation Ilmenit, Periklin gefolgt von Calcit. Erst auf diesen kristallisiert Quarz. Eine übersichtliche Zusammenstellung der Mineralparagenesen in alpinen Zerrklüften wird von NIEDERMAYR (1993) präsentiert.

5.3 Analytik: Mikrothermometrische Untersuchungen an Kluftquarzen

Die Flüssigkeitseinschlüsse der Kristalle wurden mittels Mikrothermometrie auf die Zusammensetzung der Fluide und die Homogenisierungstemperaturen untersucht. Die Messungen wurden an einem Linkam THMSG600 Heiz-Kühltisch durchgeführt, Korrekturen erfolgten mit der Software FLINCOR von BROWN & HAGEMANN (1995), die methodische Unterstützung kam von POTY et al. (1974), ROEDDER 1984, SHEPHERD et. al. 1985 und STALDER & VOLLENWEIDER 1987. Alle Proben wurden systematisch nach der Lage der Einschlüsse im Kristall gemessen, um eine eventuelle Zonierung erkennen zu können. Die Einschlüsse in alpinen Quarzen kommen sowohl in Trails innerhalb des Kristalls als auch in Clustern vor. Mehrere Einschlußgenerationen entlang von Trails wurden des öfteren festgestellt, wobei die eindeutig sekundären Einschlüsse nicht berücksichtigt wurden. Alle gemessenen und ausgewerteten Einschlüsse können als primär und pseudosekundär bezeichnet werden. Es können nur bedingt Vergleiche mit anderen mikrothermometrischen Untersuchungen in den Ostalpen gezogen werden, da in diesen Arbeiten, z.B. LUCKSCHEIDTER & MORTEANI (1980) oder WENINGER (1981) keine Unterscheidung zwischen Kluft- und Gesteinsquarzen vorgenommen wurde und sich auch kein Hinweis auf die Morphologie der Kristalle finden läßt. Für einige Gebiete gibt es eine gewisse Übereinstimmung der Daten.

6 Ergebnisse

6.1 Erfassung der Kluftrichtungen im südöstlichen Teil des Tauernfensters

Die Erfassung der räumlichen Position der Zerrklüfte war eine der Untersuchungen, aus denen Hinweise zum Aufreißen der Klüfte bzw. sogar eine zeitliche Folge dieses Vorganges erwartet

wurden. Die vorliegenden Messungen lassen drei Hauptkluftrichtungen erkennen, wie in der Karte (Abb. 2) gezeigt wird:

Goldberggruppe

Von Rauris über die Fleißtäler im W bis zur Geisselspitze und der Schwanenspitze (Wurten) im E herrscht ein NE-SW-gerichteter Verlauf der Zerrklüfte vor.

Umgebung Mallnitz

Nahezu senkrecht zur Kluftrichtung der Goldberggruppe verlaufen Zerrklüfte zwischen Romatenspitze, Gamskarlspitze, Ankogel und dem Kaponiggraben im E. Ihr Verlauf gibt die Richtung ESE-WNW an. Der östliche Teil (Romatenspitze, Gamskarlspitze) schwenkt dabei in der Kluftrichtung auf E-W ein.

Reißeckgruppe, Hafnergruppe und Umgebung Zederhaus

Für diesen Bereich gelten wieder die in der Goldberggruppe gemessenen Werte mit einer etwa NE-SW-verlaufenden Kluftrichtung.

Auffallend ist ein nahezu kluffreier Streifen, der von der Geisselspitze bis zur Häusleralm im SW reicht. Dieser Streifen, der zugleich die Kluftrichtung im Bereich von Mallnitz abtrennt, findet im SE im Kaponig- und Zwenbergergraben seine Fortsetzung. Im Bereich der Mallnitzer Mulde ist ein signifikanter Wechsel der Kluftrichtung von NE-SW (Goldberggruppe) zu ESE-WNW (Ankogelgruppe) festzustellen.

Die Zerrklüfte der Goldberggruppe enthalten ausschließlich Quarze mit spitzrhomboedrischem Habitus. Auch in Mallnitz findet man die gleiche Morphologie.

Es ist also kein Wechsel in der Quarzmorphologie festzustellen. Für den Bereich der Hafnergruppe zeigt die Habituskarte spitzrhomboedrische Quarze, im Lungau N der Mur führen die Klüfte prismatische Kristalle. Für beide Bereiche wurde eine etwa NE-SW-gerichtete Hauptkluftrichtung gemessen.

6.2 Ergebnisse der mikrothermometrischen Messungen

Die mikrothermometrischen Messungen führten zu einer sehr klaren Unterscheidung der Quarze:

Quarze mit prismatischem Habitus enthalten optisch zweiphasige wäßrige Einschlüsse mit einem Volumen der Gasblase von 20 bis 30 % und einer Salinität zwischen 1,3 und 6,0 wt% NaCl_{equiv}, die T_H-Werte liegen zwischen 176 und 290 °C. Die Homogenisierung erfolgt im allgemeinen in die flüssige Phase. Tochterminerale konnten nur in wenigen Einschlüssen gefunden werden, es handelt sich hierbei um optisch unbestimmbare Fasern und winzige dunkle Aggregate. Ein sehr geringer Gehalt (<10 % des Volumens der Gasphase) an CO₂, ± N₂ und CH₄ wurde mittels Ramanspektroskopie nachgewiesen.

Quarze mit spitzrhomboedrischem Habitus enthalten neben zweiphasigen wäßrigen, auch dreiphasige CO₂-haltige Einschlüsse und in vielen Fällen bis zu drei verschiedene Tochterminerale, die optisch nicht bestimmt werden konnten. Die Homogenisierung erfolgt zwischen 305 und 360 °C sowohl in die flüssige als auch in die Gasphase. Der CO₂-Anteil beträgt zwischen 30 und 80 %, der Schmelzpunkt von Clathrat liegt zwischen 8,7 und 10,0 °C, was auf eine geringe Salinität hinweist. Der Schmelzpunkt von CO₂ liegt in allen Proben zwischen -56,6 °C und maximal -58,5 °C. Dies spricht für einen kleinen Anteil an N₂ und/oder CH₄, der durch die Ramanspektroskopie bestätigt wurde.

Es konnte in keinem der untersuchten Kristalle eine zonare Änderung der Zusammensetzung und/oder der T_H-Werte von der Basis zur Spitze bzw. von innen nach außen festgestellt werden.

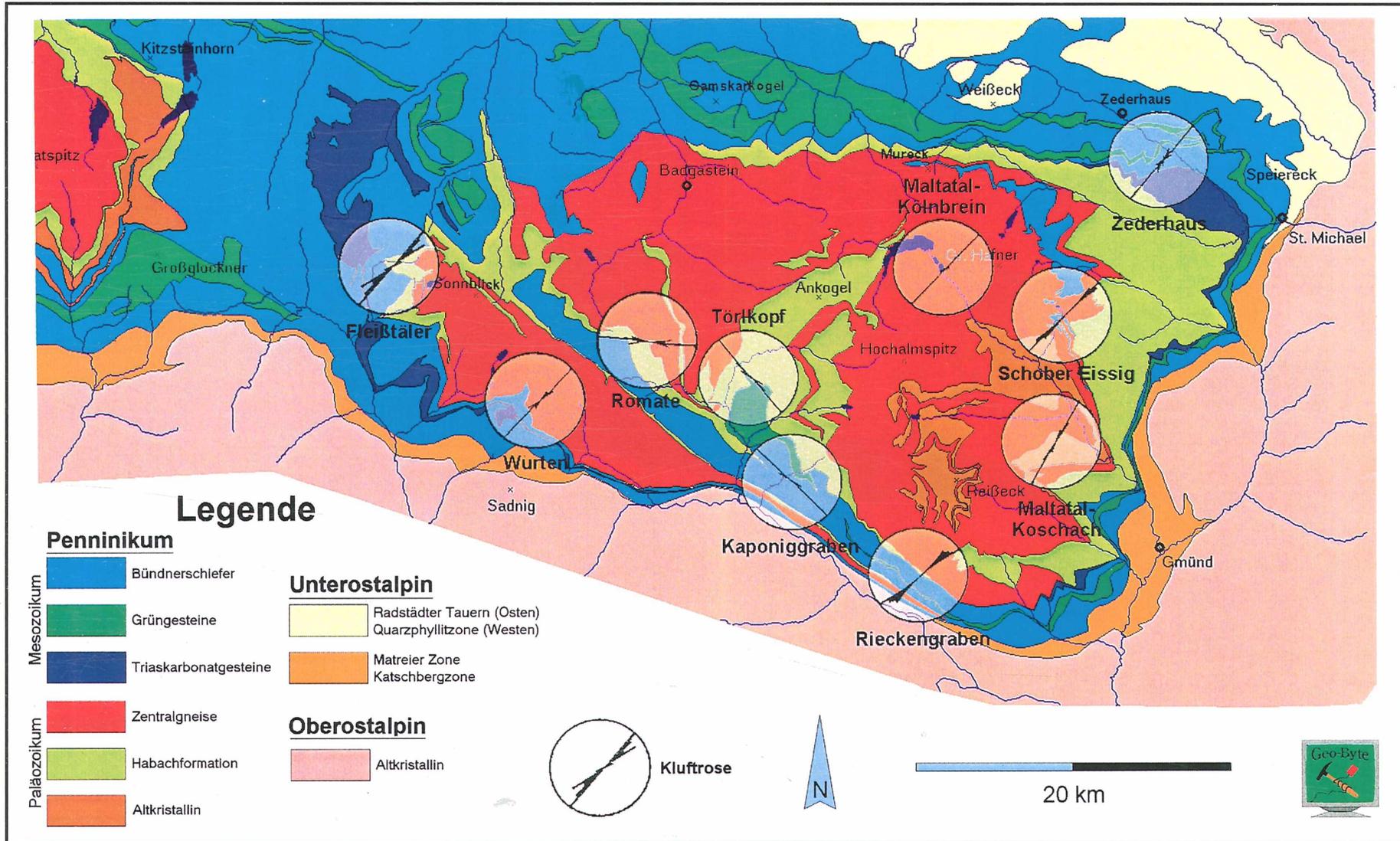


Abb. 2: Karte der Verteilung der Kluffrichtungen

Fig. 2: Map of the distribution of fissure direction

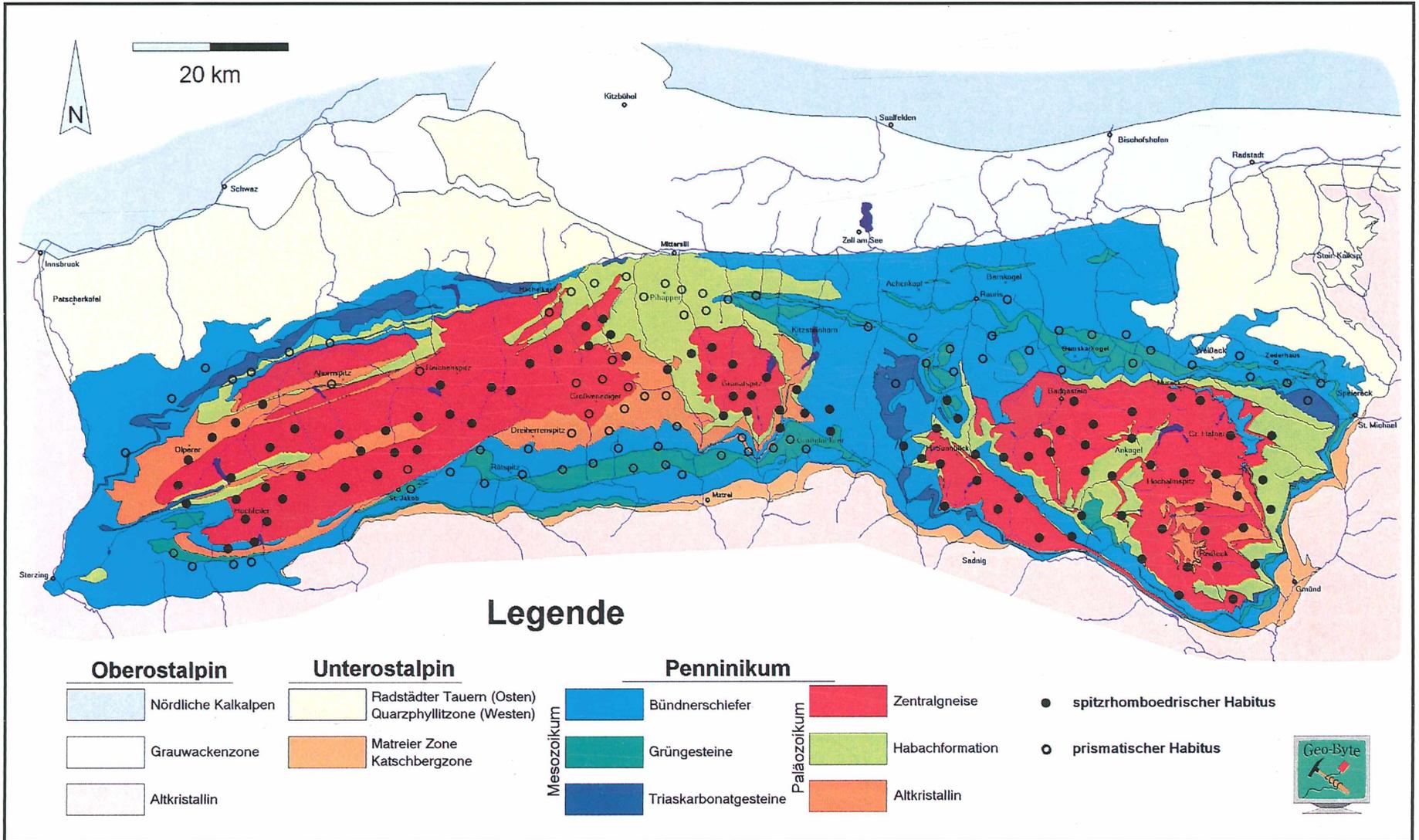


Abb. 3: Geologische Karte des Tauernfensters (vereinfacht); dunkle Kreise: Fundstellen von Kristallen mit spitzrhomboedrischem Habitus, helle Kreise: Kristalle mit prismatischem Habitus

Fig. 3: Geological map of the Tauern window (simplified); dark spheres: location of crystals with acute rhombohedral habit, light spheres: crystals with prismatic habit

7.1 Kluftrichtungen

Die Lage der Klüfte im Untersuchungsgebiet ist einheitlich. Sie streichen überwiegend NE-SW, nur in einem engen Bereich ist eine SE-NW-Abweichung festzustellen. Aufzeichnungen über das Nebengestein, und die auftretenden Paragenesen geben weitere Informationen über die Bildungsbedingungen. Neben den hier untersuchten Quarzen gibt es Minerale, die vor den Quarzen und solche die in bestimmten Reihenfolgen nach diesen kristallisierten. Die Beobachtung dieser Kristallisationsfolge gibt sehr wichtige Hinweise zur Entstehung vor allem der Temperaturänderung. Verschiedene Mineralparagenesen wurden als Beobachtungsbelege herangezogen.

Das überwiegend einheitliche Streichen der Klüfte über geologische Einheiten sowie unterschiedliche Gesteinsprovinzen hinweg weist auf ein zeitgleiches Geschehen hin, d.h. ein zeitlich unterschiedliches Aufreißen ist für einen Großteil der Zerrklüfte auszuschließen. Die verschiedenen Kluftrichtungen sind auf die Spannungstektonik am Beginn der Hebung der Alpen zurückzuführen.

7.2 Mikrothermometrische Untersuchungen

Die T_H -Werte der Einschlüsse werden als minimale Bildungstemperatur angesehen, die maximale Bildungstemperatur ergibt sich aus dem Metamorphosegrad des Nebengesteins. Aus den bisher erhaltenen Daten geht hervor, daß der Habitus der Kristalle vor allem von der Zusammensetzung der fluiden Phase zur Zeit der Kristallisation abhängt. Die Zusammensetzung der Einschlüsse ist vom Chemismus des Nebengesteins unabhängig. Die Unabhängigkeit der Morphologie der Kristalle vom Nebengestein wurde schon von KANDUTSCH (1989) beschrieben. FLÖRKE (1967) stellte bei der Quarzsynthese fest, daß die Wachstumsgeschwindigkeit der Quarzflächen vom Lösungsmedium und der Temperatur abhängt. Während mit steigender Temperatur das Wachstum der Prismenflächen abnimmt, verdrängen bei starker Übersättigung der Lösung zahllose kleine Rhomboederflächen das Prisma, wobei ein Kristall mit spitzrhomboedrischen Habitus entsteht. Die Verteilung der unterschiedlichen Quarzmorphologie im Gelände ist in Abbildung 3 dargestellt.

Die Zusammensetzung der Fluide in den Quarzen ist entweder CO_2 reich, dann haben sie spitzrhomboedrischen Habitus, oder sie enthalten wäßrige Lösungen, in diesem Fall zeigen die Kristalle prismatischen Habitus (vgl. Tab. 1 und 2).

Im östlichen Tauernfenster können die verschiedenen Habitusarten alpiner Kluftquarze direkt mit dem CO_2 -Gehalt der in ihnen enthaltenen Flüssigkeitseinschlüsse korreliert werden. Die Verteilung der Habitusarten und damit das Auftreten CO_2 -reicher Fluide zeigt einen deutlichen Zusammenhang mit dem Isothermenverlauf aus Sauerstoffisotopenuntersuchungen (HOERNES & FRIEDRICHSEN 1974).

Das Auftreten von CO_2 -reichen Fluiden ist dabei unabhängig vom Nebengesteinschemismus, es muß eine Zufuhr von CO_2 aus tieferen Bereichen angenommen werden. Die als autochthon angesehenen Zentralgneiskerne (vgl. HÖCK et al. 1994) können danach wie in den Westalpen auch auf ein mesozoisches Basement aufgeschoben worden sein. Eine starke Aufheizung überschobener karbonatreicher Sedimente kann zu einer Fluidmigration in die darüberliegenden Gesteinsserien geführt haben. Im Gegensatz zu den Westalpen, die eine Zonengliederung der Fluidzusammensetzung von N nach S aufweisen (MULLIS et al. 1994), ist die Verteilung im Tauernfenster um die höhermetamorphen, kuppelförmig aufgewölbten penninischen Kernbereiche angeordnet.

Die CO_2 -reichen Fluide im Metamorphosebereich zwischen oberer Grünschieferzone und der Amphibolitfazies sind vom darüberliegenden niedriger temperierten Bereich, der unteren Grünschieferzone relativ scharf abgegrenzt. Als Ursache kann angenommen werden, daß CO_2 -reiche Fluide nur bei höheren Druck-Temperatur-Bedingungen mobil bleiben konnten (vgl. MULLIS 1996).

Wir danken dem Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF) für die Unterstützung des Projektes P 10 197 GEO, sowie den Nationalparkverwaltungen des Nationalparks Hohe Tauern, Salzburger und Kärntner Anteil, für die Genehmigung zum Aufsammeln von Gesteinsproben. Die geologische Karte wurde von der Firma Geo-Data GmbH erstellt.

9 Literatur

- BAMBAUER, H.U., BRUNNER, G.O. & LAVES, F. (1961): Beobachtungen über Lamellenbau an Bergkristallen. - Z. Kristallogr. 116: 173-181.
- BROWN, P.E. & HAGEMANN, S.G. (1995): MacFlinCor: A computer program for fluid inclusion data reduction and manipulation. - Short Course of the Working Group (IMA) "Inclusions in Minerals" (Pontignano - Siena, 1. -4. September 1994), Virginia Tech 1995: 231-248.
- FLÖRKE, O.W. (1967): Die Modifikationen von SiO₂. Eine Zusammenfassung. - Fortschr.Miner., Stuttgart, 44, 2: 181-230
- HÖCK, V. (1980): Distribution maps of minerals of the alpine metamorphism in the penninic Tauern window, Austria. - Mitt.österreich.geol.Ges. Wien 71/72: 119-127.
- HÖCK, V., KOLLER, F. & SEEMANN, R. (1994): Geologischer Werdegang der Hohen Tauern vom Ozean zum Hochgebirge. In: Ausstellungskatalog zur Wanderausstellung „Mineral & Erz in den Hohen Tauern“ Naturhistorisches Museum Wien: 29-48.
- HOERNES, S. & FRIEDRICHSEN, H. (1974): Oxygen isotope studies of metamorphic rocks of the Western Hohe Tauern Area (Austria). - Schweiz.Mineral.Petrogr.Mitt., Zürich, 54: 769-788.
- KANDUTSCH, G. (1989): Die morphologische Einteilung alpiner Zerrkluftquarze und deren Anwendung als Geothermometer im Tauernfenster. - Unveröff. Diss., Nat.wiss. Fak., Universität Salzburg, 138pp.
- KANDUTSCH, G. (1993): Die Einteilung alpiner Zerrkluftquarze und deren Anwendung als Geothermometer im Tauernfenster. - Wiss. Mitt. Nationalpark Hohe Tauern, Bd .1: 28-33.
- LUCKSCHEIDTER, B. & MORTEANI, G. (1980): Microthermometrical and chemical studies of fluid inclusions in minerals from Alpine veins from the Penninic rocks of the central and western Tauern Window (Austria/Italy). - Lithos 13, Oslo: 61-77.
- MULLIS, J. (1983): Einschlüsse in Quarzkristallen der Schweizer Alpen und ihre mineralogisch- geologische Bedeutung. - Bull.Soc.Frib.Sc.Nat., Freiburg, 72(1/2): 5-19.
- MULLIS, J. (1991): Bergkristall. - Schweizer Strahler, Basel, Vol. 9, Nr. 3: 127-161.
- MULLIS, J. (1996): P-T-t path of quartz formation in extensional veins of the Central Alps. Schweiz.Mineral.Petrogr.Mitt., Zürich, 76: 159-164.
- MULLIS, J., DUBESSY, J., POTY, B. & O'NEILL, J. (1994): Fluid regimes during late stages of a continental collision: Physical, chemical, and stable isotope measurements of fluid inclusions in fissure quartz from a geotransverse through the Central Alps, Switzerland. - Geochim. et Cosmochim. Acta, Vol. 58, No. 10: 2239-2267.
- NIEDERMAYR, G.(1993): Alpine Kluffmineralisation im Nationalpark Hohe Tauern und ihre Beziehung zur alpidischen Metamorphose. - Wiss. Mitt. Nationalpark Hohe Tauern, Bd. 1: 149-168.
- POTY, B.P., STALDER, H.A. & WEISBROD, A.M. (1974): Fluid Inclusion Study in Quartz from Fissures of Western and Central Alps.- Schweiz.Mineral.Petrogr.Mitt., Zürich, 50: 17-752.
- ROEDDER, E. (1984): Fluid Inclusions. - Reviews in Mineral., Min. Soc. Amer., 12, 644pp.
- RYKART, R. (1995): Quarz - Monographie. - Ott Verlag, Thun, 462pp.
- SHEPHERD, T.J., RANKIN, A.H. & ALDERTON, D.H.M. (1985): A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies. Blackie, Glasgow and London.
- STALDER, H.A. & VOLLENWEIDER, P. (1987): Untersuchungen fluider Einschlüsse an Quarzkristallen alpiner Zerrklüfte. - Jahrb. Naturhist. Mus., Bern, 9: 45-266.

WENINGER, H. (1981): Mikrothermometrische Untersuchungen an ostalpinen Lagerstätten. Schweiz. Mineral.Petrogr.Mitt., Zürich, 29: 127-149.

Adresse der Autoren:

Dr. Georg Kandutsch
Hinterwinkl 29
A-9543 Arriach
Austria

Mag. Katharina Hasenberger
Univ.Prof. Dr. Elisabeth Ch. Kirchner
Institut für Mineralogie
Universität Salzburg
Hellbrunner Straße 34
A-5020 Salzburg
Austria
e-mail: elisabeth.kirchner@sbg.ac.at