

Untersuchung reliktsicher Hochdruckparagenesen in Gesteinen des Dorfertales (Kaiser Tal, Osttirol)

Robert Sturm

Eingelangt am 04.05.1999

1 Zusammenfassung

Im zentralen Tauernfenster wurden im Dorfertal (Kaiser Tal, Osttirol) reliktsiche, in Metamorphiten der Unteren Schieferhülle enthaltene Hochdruckparagenesen petrographisch und mineralchemisch untersucht. In einem Granatamphibolit konnte dabei sowohl ein älteres Hochdruckstadium anhand des Granats und der hauptsächlich darin eingeschlossenen Mineralassoziation Omphazit–Paragonit–Na-Amphibol–Rutil als auch ein blauschieferfazielles Ereignis anhand der in der Matrix erhalten gebliebenen Glaukophane nachgewiesen werden. Die durch die Überschiebung des ostalpinen Deckenstapels verursachte „Tauernkristallisation“ wird durch eine randliche Symplektitisierung der Glaukophane und der sehr seltenen Matrix-Omphazite repräsentiert. Geothermobarometrische Berechnungen ergaben einen Minimaldruck von 12 bis 14 kbar und eine mittlere Temperatur von 560 °C für die Hochdruck-Metamorphose, wohingegen im blauschieferfaziellen Stadium ein Druck von 8 bis 10 kbar und eine Temperatur von etwa 400 °C herrschten. Für die „Tauernkristallisation“ wurden ein Druck von > 5 kbar und eine Temperatur von ca. 550 °C geschätzt. Aus den berechneten Daten läßt sich ein typischer, im Uhrzeigersinn verlaufender Druck-Temperatur-Pfad erstellen.

2 Summary

Investigation of high-pressure relics in rocks of the Dorfertal (Kaiser Tal, East Tyrol)

In the central Tauern Window in the Dorfertal (Kaiser Tal, East Tyrol) high-pressure relics in metamorphic rocks of the Lower Schieferhülle were investigated by the application of petrography and crystal chemistry. In a garnet amphibolite, an older high-pressure event could be documented by the detection of garnet and the paragenesis omphacite–paragonite–Na-amphibole–rutile which is mainly included in garnet. A subsequent blueschist facies stage is realized by high amounts of glaucophane in the matrix. The Tauern crystallization caused by the overthrusting of the Austroalpine nappes is represented by the marginal transformation of glaucophane and matrix omphacite into a symplectite of Mg-hornblende and albite. Geothermobarometric calculations suggest a minimum pressure of 12 to 14 kbar and an average temperature of 560 °C for the high-pressure event, while the blueschist facies metamorphism took place at a pressure of 8 to 10 kbar and a temperature of 400 °C. For the Tauern crystallization a pressure > 5 kbar and a temperature of 550 °C could be estimated. From the geothermobarometric data, a typical, clockwise running p-T path can be constructed.

3 Key words

Tauern Window, high-pressure event, blueschist facies, relics, garnet amphibolite, Tauern crystallization, geothermobarometry, p-T path

4 Einleitung

Die penninischen Gesteinsformationen, welche im Tauernfenster zutage treten, ansonsten jedoch vom Austroalpinen Deckenstapel überlagert sind, stellen die tiefsten tektonischen Einheiten der Ostalpen dar. Sie lassen sich nach FRANK et al. (1987) in zwei tektonostratigraphische Großeinheiten gliedern: einen präalpidischen, kontinentalen Basement-Komplex, der aus den variszischen Zentralgneisen und der polymetamorphen Unteren Schieferhülle zusammengesetzt ist, sowie eine diese Basiseinheit überlagernde Sequenz, welche jene im Mesozoikum zwischen Europäischer und Adriatischer Platte gelegene ozeanische Kruste repräsentiert und sich in Eklogitzone und Obere Schieferhülle gliedert (HÖCK & MILLER 1987). Die infolge einer Nordwärtsbewegung der Adriatischen Platte eingetretene

Subduktion dieser ozeanischen Kruste sowie des Randes der Europäischen Platte nach erfolgter Kontinent-Kontinent-Kollision verursachte eine zum Teil intensive Metamorphose innerhalb der penninischen Einheiten. Obere Schieferhülle und Eklogitzone wurden dabei in mehrere Decken aufgespalten, welche bei ihrer Versenkung und Hebung unterschiedlichen Druck-Temperatur-Pfaden folgten.

HOLLAND (1979) gliederte das penninische Metamorphoseereignis in drei Stadien: Das erste Stadium ist durch die Kristallisation eklogitfazieller Minerale bei ca. 20 kbar und 600 °C gekennzeichnet und wird hauptsächlich durch die Gesteine der Eklogitzone repräsentiert. Im nachfolgenden blauschiefer- bis eklogitfaziellen Stadium wurden die Gesteine sowohl des Basis- als auch des Hüllkomplexes überprägt. Ein abschließendes grünschiefer- bis amphibolitfazielles Stadium („Tauernkristallisation“) betraf ebenfalls alle Einheiten des Tauernfensters und ging mit deren Hebung infolge der Erosion überlagernder Decken und tektonischer Exhumation einher. In den letzten Jahrzehnten wurde von zahlreichen Forschern (z.B. ZIMMERMANN et al. 1994, DACHS 1990, SPEAR & FRANZ 1986; Überblick in HOINKES et al. 1999) versucht, die während der einzelnen Metamorphosestadien herrschenden Druck- und Temperaturbedingungen sowie deren zeitlichen Verlauf möglichst exakt zu erfassen. Im zentralen Tauernfenster konzentrierten sich dabei die Untersuchungen vorwiegend im südlichen Großvenediger-Gebiet, wo die Gesteine der Eklogitzone zutage treten. Im Glocknergebiet hingegen wurden bislang nur spärliche Metamorphose-Studien angestellt (z.B. HÖCK 1974, 1980, BICKLE & POWELL 1977, FRANK et al. 1987). Die Erstellung von ersten Druck-Temperatur-Pfaden in diesem Bereich des Tauernfensters erfolgte durch STURM et al. (1996, 1997) und basierte auf der Untersuchung von Hochdruckrelikten in diversen Grüngesteinen, auf welche bereits von CORNELIUS & CLAR (1939) hingewiesen wurde. Diese beiden Autoren beschrieben auch für das Dorfertal im Grenzbereich zwischen Oberer und Unterer Schieferhülle derartige reliktsche Hochdruckparagenesen, welche jedoch bisher noch nicht genauer studiert wurden. In der vorliegenden Arbeit soll eine ausführliche petrographische und kristallchemische Darstellung dieser Relikte gegeben werden, um neue Druck-Temperatur-Daten für den Glocknerbereich zu gewinnen.

5 Lage des Untersuchungsgebietes

Das bearbeitete Gebiet befindet sich im nördlich der Osttiroler Ortschaft Kals verlaufenden Dorfertal (Verlängerung des Kaiser Tales) und kann von den südlich der Daberkamm gelegenen Parkplätzen nach etwa einstündiger Gehzeit erreicht werden. Die Fundorte (97/01 bis 97/07) liegen im Umkreis der Schönebenalm. Die beprobten Gesteine sind geologisch der Riffel-Decke sowie der Imbrikationszone zwischen Riffel- und Glockner-Decke zuzuordnen (Abb. 1B, C). Die Probenpunkte liegen sowohl auf der östlichen als auch auf der westlichen Talflanke in Seehöhen zwischen 1700 m und 1900 m. Die Eklogitrelikte wurden in unmittelbarer Nähe der Schönebenalm in einem ausgetrockneten Bachbett am Fuße einer Steilwand gefunden.

6 Material und Methoden

Die Begehungen des Arbeitsgebietes und die Beprobungen der für die Untersuchung interessanten Gesteine wurden im Frühjahr und Sommer des Jahres 1997 durchgeführt. Die petrographische Dokumentation der Gesteinsproben erfolgte nach Anfertigung von etwa 50 Dünnschliffen. Von den die Reliktparagenesen enthaltenden Gesteinen wurden weiters polierte Dünnschliffe für die kristallchemischen Untersuchungen hergestellt. Diese geschahen an einer Mikrosonde des Typs JEOL JXA-8600 am Institut für Mineralogie der Universität Salzburg. Für die Punktanalysen wurden am Gerät folgende Standardeinstellungen vorgenommen: ein Strahldurchmesser von 1 µm, ein Strahlstrom von 30 nA und eine Hochspannung von 15 kV. Jede Analyse beinhaltete die Messung der Elemente Si, Ti, Al, Fe, Mg, Mn, Ca, Na und K. Als Standards für diese Elemente dienten Quarz, Rutil, Korund, Fe, MgO, MnO, Wollastonit, Albit und Adular. Die Zählzeiten wurden einheitlich auf 10 Sekunden eingestellt. Die Verrechnung der Rohdaten erfolgte durch Anwendung eines ZAF-Korrekturprogrammes. Für die Formelberechnung der Amphibole wurde das Programm PROBEAMPH

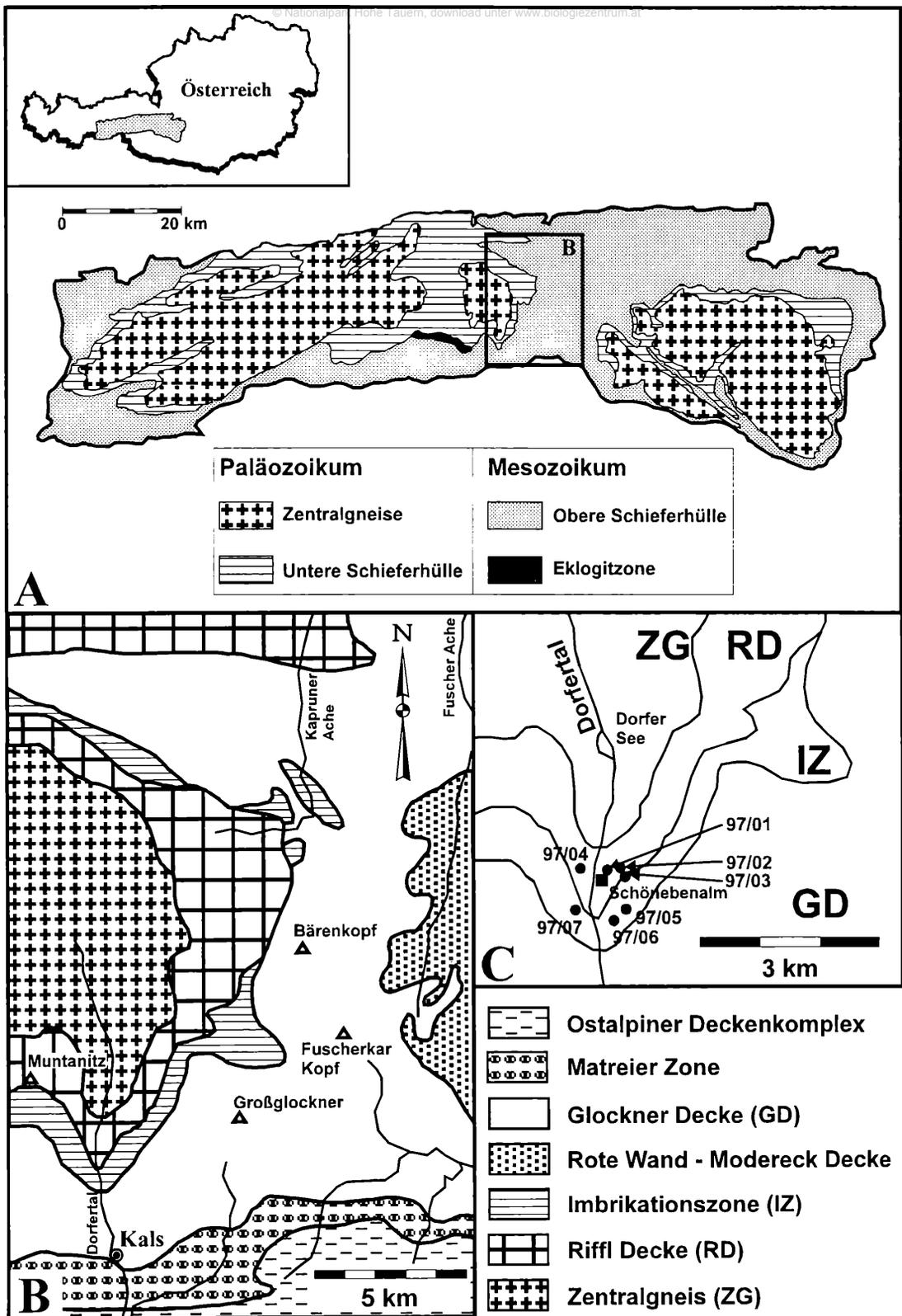


Abb. 1: A) Geologische Übersichtskarte des Tauernfensters mit seinen vier tektonostratigraphischen Einheiten. B) Detailkarte des zentralen Tauernfensters mit der Deckengliederung nach KURZ et al. 1996. C) Lage des Untersuchungsgebietes sowie der einzelnen Probenpunkte.

Fig. 1: A) Geological map of the Tauern Window with its four tectonostratigraphic units. B) Detailed map of the central Tauern Window with the nappe arrangement described by KURZ et al. (1996). C) Position of the study area and of the single sample points.

Subduktion dieser ozeanischen Kruste sowie des Randes der Europäischen Platte nach erfolgter Kontinent-Kontinent-Kollision verursachte eine zum Teil intensive Metamorphose innerhalb der penninischen Einheiten. Obere Schieferhülle und Eklogitzone wurden dabei in mehrere Decken aufgespalten, welche bei ihrer Versenkung und Hebung unterschiedlichen Druck-Temperatur-Pfaden folgten.

HOLLAND (1979) gliederte das penninische Metamorphoseereignis in drei Stadien: Das erste Stadium ist durch die Kristallisation eklogitfazieller Minerale bei ca. 20 kbar und 600 °C gekennzeichnet und wird hauptsächlich durch die Gesteine der Eklogitzone repräsentiert. Im nachfolgenden blauschiefer- bis eklogitfaziellen Stadium wurden die Gesteine sowohl des Basis- als auch des Hüllkomplexes überprägt. Ein abschließendes grünschiefer- bis amphibolitfazielles Stadium („Tauernkristallisation“) betraf ebenfalls alle Einheiten des Tauernfensters und ging mit deren Hebung infolge der Erosion überlagernder Decken und tektonischer Exhumation einher. In den letzten Jahrzehnten wurde von zahlreichen Forschern (z.B. ZIMMERMANN et al. 1994, DACHS 1990, SPEAR & FRANZ 1986; Überblick in HOINKES et al. 1999) versucht, die während der einzelnen Metamorphosestadien herrschenden Druck- und Temperaturbedingungen sowie deren zeitlichen Verlauf möglichst exakt zu erfassen. Im zentralen Tauernfenster konzentrierten sich dabei die Untersuchungen vorwiegend im südlichen Großvenediger-Gebiet, wo die Gesteine der Eklogitzone zutage treten. Im Glocknergebiet hingegen wurden bislang nur spärliche Metamorphose-Studien angestellt (z.B. HÖCK 1974, 1980, BICKLE & POWELL 1977, FRANK et al. 1987). Die Erstellung von ersten Druck-Temperatur-Pfaden in diesem Bereich des Tauernfensters erfolgte durch STURM et al. (1996, 1997) und basierte auf der Untersuchung von Hochdruckrelikten in diversen Grüngesteinen, auf welche bereits von CORNELIUS & CLAR (1939) hingewiesen wurde. Diese beiden Autoren beschrieben auch für das Dorfertal im Grenzbereich zwischen Oberer und Unterer Schieferhülle derartige reliktsche Hochdruckparagenesen, welche jedoch bisher noch nicht genauer studiert wurden. In der vorliegenden Arbeit soll eine ausführliche petrographische und kristallchemische Darstellung dieser Relikte gegeben werden, um neue Druck-Temperatur-Daten für den Glocknerbereich zu gewinnen.

5 Lage des Untersuchungsgebietes

Das bearbeitete Gebiet befindet sich im nördlich der Osttiroler Ortschaft Kals verlaufenden Dorfertal (Verlängerung des Kalser Tales) und kann von den südlich der Daberkamm gelegenen Parkplätzen nach etwa einstündiger Gehzeit erreicht werden. Die Fundorte (97/01 bis 97/07) liegen im Umkreis der Schönebenalm. Die beprobten Gesteine sind geologisch der Riffel-Decke sowie der Imbrikationszone zwischen Riffel- und Glockner-Decke zuzuordnen (Abb. 1B, C). Die Probenpunkte liegen sowohl auf der östlichen als auch auf der westlichen Talflanke in Seehöhen zwischen 1700 m und 1900 m. Die Eklogitrelikte wurden in unmittelbarer Nähe der Schönebenalm in einem ausgetrockneten Bachbett am Fuße einer Steilwand gefunden.

6 Material und Methoden

Die Begehungen des Arbeitsgebietes und die Beprobungen der für die Untersuchung interessanten Gesteine wurden im Frühjahr und Sommer des Jahres 1997 durchgeführt. Die petrographische Dokumentation der Gesteinsproben erfolgte nach Anfertigung von etwa 50 Dünnschliffen. Von den die Reliktparagenesen enthaltenden Gesteinen wurden weiters polierte Dünnschliffe für die kristallchemischen Untersuchungen hergestellt. Diese geschahen an einer Mikrosonde des Typs JEOL JXA-8600 am Institut für Mineralogie der Universität Salzburg. Für die Punktanalysen wurden am Gerät folgende Standardeinstellungen vorgenommen: ein Strahldurchmesser von 1 µm, ein Strahlstrom von 30 nA und eine Hochspannung von 15 kV. Jede Analyse beinhaltete die Messung der Elemente Si, Ti, Al, Fe, Mg, Mn, Ca, Na und K. Als Standards für diese Elemente dienten Quarz, Rutil, Korund, Fe, MgO, MnO, Wollastonit, Albit und Adular. Die Zählzeiten wurden einheitlich auf 10 Sekunden eingestellt. Die Verrechnung der Rohdaten erfolgte durch Anwendung eines ZAF-Korrekturprogrammes. Für die Formelberechnung der Amphibole wurde das Programm PROBEAMPH

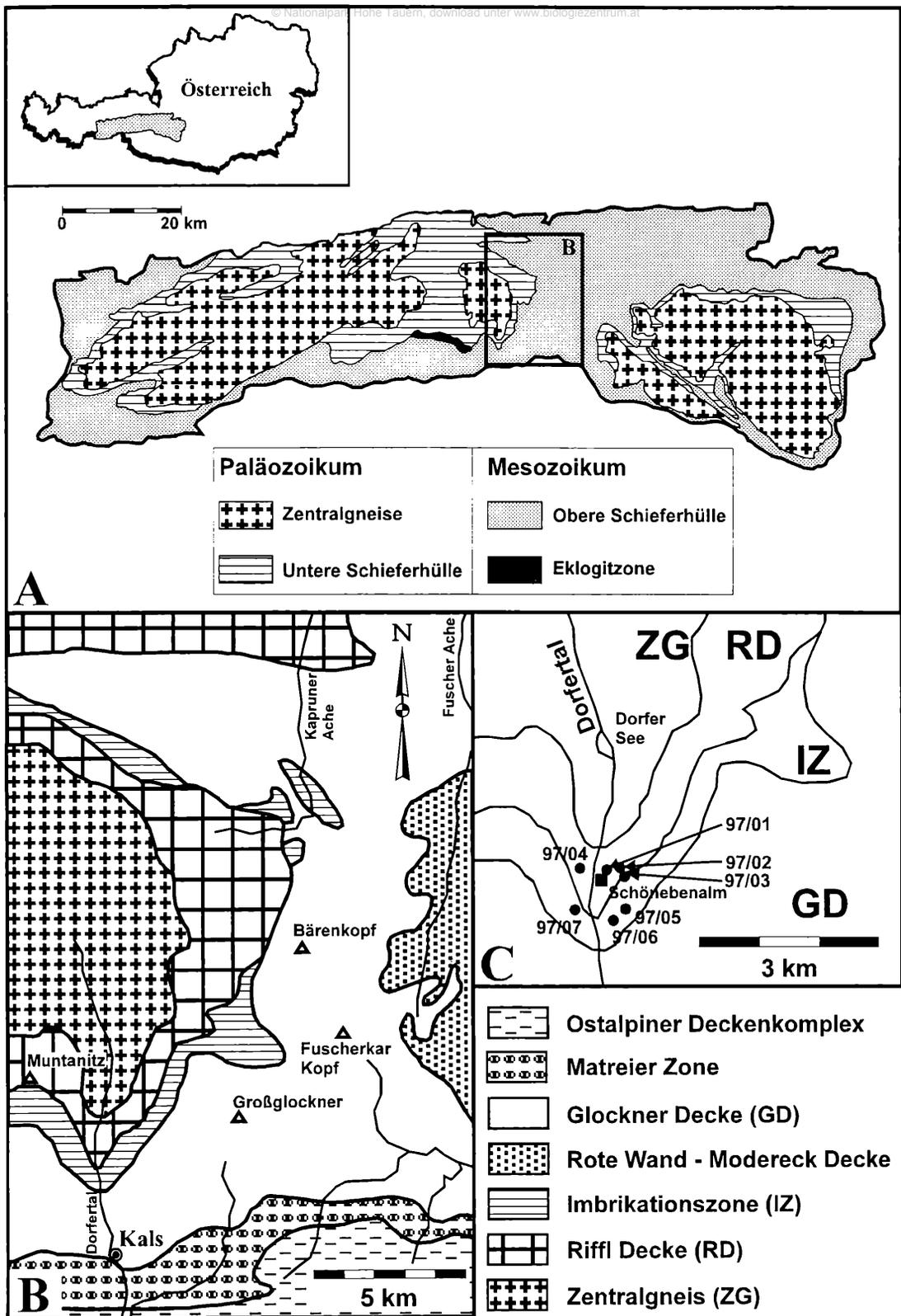


Abb. 1: A) Geologische Übersichtskarte des Tauernfensters mit seinen vier tektonostratigraphischen Einheiten. B) Detailkarte des zentralen Tauernfensters mit der Deckengliederung nach KURZ et al. 1996. C) Lage des Untersuchungsgebietes sowie der einzelnen Probenpunkte.

Fig. 1: A) Geological map of the Tauern Window with its four tectonostratigraphic units. B) Detailed map of the central Tauern Window with the nappe arrangement described by KURZ et al. (1996). C) Position of the study area and of the single sample points.

von TINDLE & WEBB (1994) verwendet. Die Ermittlung des Fe³⁺-Gehaltes von analysierten Pyroxenen geschah mit Hilfe des Berechnungsschemas von DROOP (1987) (Methode des Ladungsausgleiches).

Für die geothermobarometrische Dokumentation des Hochdruckereignisses wurden Einschlußphasen von reliktschen Granaten sowie die jeweils koexistierende Granatphase selbst analysiert, wobei in Anlehnung an ST-ONGE (1986) das Augenmerk auf mögliche Änderungen von berechnetem Druck und kalkulierter Temperatur zwischen Kern- und Randbereich gelegt wurde. Um die für diese Fragestellung sehr störend wirkenden Schnitteffekte (INDARES & MARTIGNOLE 1985) möglichst gering zu halten, wurden lediglich jene Granate mit den größten Durchmessern einer Analyse unterzogen. Im Falle von Omphazit und Granat als koexistierenden Phasen wurde zur Ermittlung der Gleichgewichtstemperatur das Mg-Fe-Austauschthermometer von BERMAN et al. (1995) herangezogen, wohingegen die Berechnung des Minimaldruckes basierend auf der Reaktion Jadeit + Quarz = Albit (HOLLAND 1980) erfolgte. Bei einer Koexistenz von Amphibol mit Granat wurde ebenfalls das entsprechende Mg-Fe-Austauschthermometer verwendet (GRAHAM & POWELL 1984). Die Druck-Temperatur-Bedingungen des amphibolitfaziellen Ereignisses wurden mit Hilfe des Plagioklas-Amphibol-Thermometers (SPEAR 1980, HOLLAND & BLUNDY 1994), des (Na-Ca)-Amphibol-Albit-Epidot-Chlorit-Quarz-Geothermobarometers (TRIBOULET 1992) sowie anhand der Abbaureaktion von Glaukophan abgeschätzt.

7 Ergebnisse

7.1 Petrographie der Gesteinsproben

Probe-Nr.	Gesteinsbezeichnung	Paragenese
97/03 97/04	„Eklogitischer“ Amphibolit	<u>Einschlüsse in Granat:</u> Omphazit + Na-Amphibol + Paragonit + Epidot + Plagioklas ± Rutil ± Erz <u>Matrix:</u> Glaukophan + Na-Ca -Amphibol + Magnesian-Hornblende + Plagioklas + Paragonit + Omphazit + Quarz ± Karbonat ± Epidot ± Rutil ± Titanit ± Erz
97/01	Granat-Glimmerschiefer	Granat + Muskovit + Biotit + Quarz + Albit ± Chlorit ± Zoisit ± Karbonat
97/02	Quarzitischer Glimmerschiefer	Muskovit + Quarz ± Chlorit ± Biotit + Zoisit
97/05 97/06	Kalkglimmerschiefer	Calcit + Dolomit + Chlorit + Phengit ± Muskovit + Quarz ± Zoisit ± Paragonit
97/07	Paragneis	Biotit + Muskovit + Quarz + Albit ± Karbonat ± Zoisit

Tab. 1: Mineralparagenesen in den untersuchten Gesteinen. Beim Granat-Amphibolit wurden eine Einschluß- und eine Matrix-Paragenese unterschieden.

Table 1: Mineral parageneses in the investigated rocks. For the garnet amphibolite, a paragenesis included in garnet as well as a matrix paragenesis could be determined.

Die im Bereich der Schönebenalm vorherrschende Lithologie ist durch eine hohe Vielfalt gekennzeichnet (vgl. Geologische Karte des Großglockner-Gebietes 1:50000). Neben den flächenmäßig

überwiegenden Kalkglimmerschiefern treten hier hauptsächlich helle, quarzitische sowie dunklere Granat-führende Glimmerschiefer auf. Vereinzelt können auch kleinere Vorkommen von Paragneis und Kalkmarmor gefunden werden. Der für die Studie interessante eklogitische Amphibolit tritt entsprechend den Angaben von CORNELIUS & CLAR (1939) in Form eines wenige Meter mächtigen, in Kalkglimmerschiefer eingeschlossenen Bandes etwa 200 m oberhalb der Schönebenalm auf. Diese Amphibolitlage läßt sich mit Unterbrechungen über eine Strecke von einigen hundert Metern verfolgen. In einer nördlich der Schönebenalm verlaufenden Schuttrinne können zahlreiche Blöcke aller möglichen Spielarten des Amphibolits angetroffen werden.

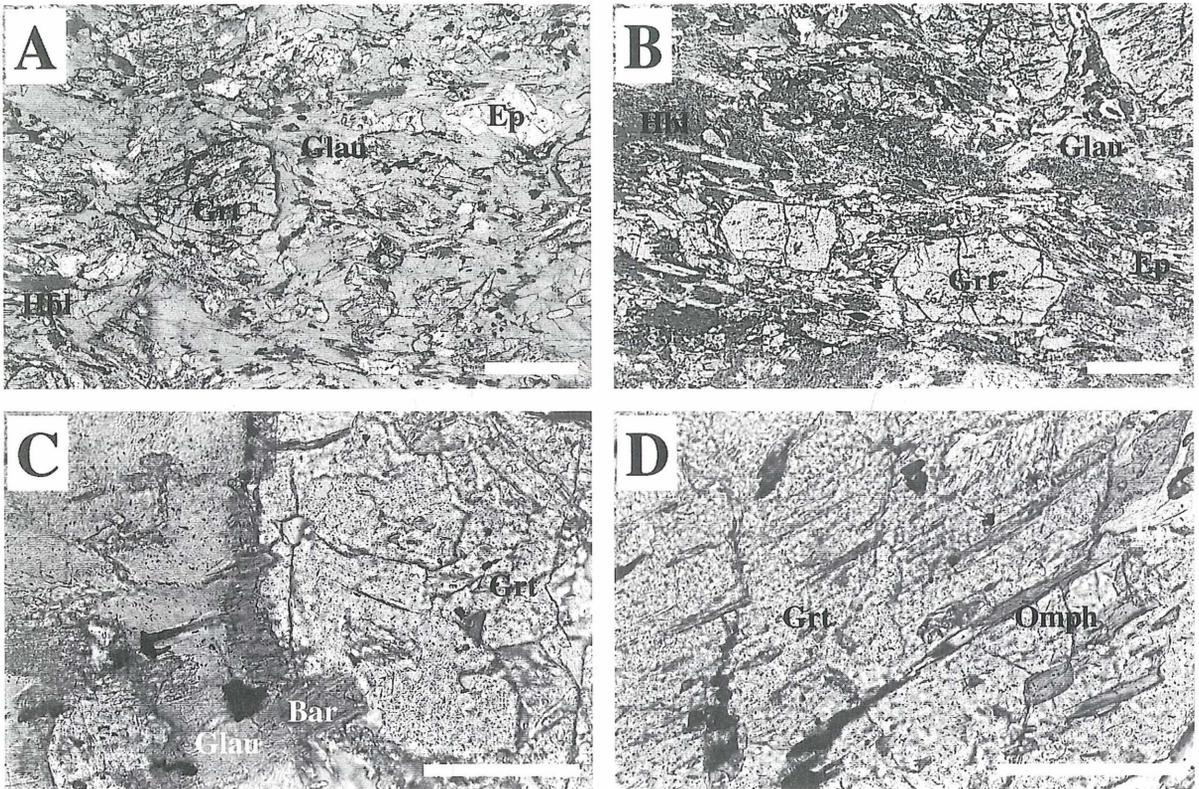


Abb. 2: Durchlichtmikroskopische Photographien des Granat-Amphibolits. Übersichtsbilder einer Glaukophan (Glauc)-reichen Lage (A) und einer Hornblende (Hbl)-reichen Lage (B) (Balken: 1 mm). C) Detailaufnahme eines Granats (Grt) mit umgebendem Saum aus Barroisit (Bar) und daran anschließendem Glaukophan (Balken: 100 μ m). D) Detailaufnahme von Omphazit (Omph)-Einschlüssen mit ihrer einheitlichen Regelung (Balken: 50 μ m).

Fig. 2: Micrographs of the garnet amphibolite. Overview of a layer rich in glaucophane (Glauc) (A) and a layer with high amounts of hornblende (Hbl) (B) (Bars: 1 mm). C) Detailed micrograph of a garnet (Grt) with a corona of barroisite (Bar) and glaucophane in the surrounding matrix (Bar: 100 μ m). D) Detail of omphacite (Omph) inclusions in garnet and their uniform orientation (Bar: 50 μ m).

Über die in den oben beschriebenen Gesteinen vorherrschenden Mineralparagenesen gibt Tabelle 1 Auskunft. Der eklogitische Amphibolit (Abb. 2A-D) zeigt im Dünnschliff reliktsche, zwischen 0,5 und 5 mm große Granate, welche ihr idiomorphes Erscheinungsbild größtenteils bewahrt haben und mitunter zahlreiche Einschlüsse aufweisen. Als mikroskopisch bestimmbare Einschlußphasen treten dabei neben Omphazit und Alkalamphibolen vor allem Paragonit, Plagioklas, Quarz, Epidot, Rutil und eine Opakphase auf (Tab. 1). Die Omphazit- bzw. Amphibol-Einschlüsse sind von länglicher Gestalt und in eine Vorzugsrichtung orientiert (Abb. 2D). Das resultierende Interngefüge im Granat

bildet mit der externen Schieferung einen spitzen Winkel aus. In vielen Granatkristallen ist eine Abnahme der Einschlußhäufigkeit vom Kern zum Randbereich festzustellen. Manche Granate sind von einem 10 bis 20 µm breiten Saum aus grünem Na-Ca-Amphibol umgeben, erfahren vereinzelt jedoch auch schon eine Symplektitisierung. Die Matrix des Amphibolits läßt einerseits wenige Millimeter breite Lagen aus Glaukophan erkennen, welcher mit Na-Ca- und Ca-Amphibolen (Barroisit, Aktinolit) koexistiert. Stellenweise setzt ein randlicher Abbau der Amphibole in symplektitische Mg-Hornblende und Plagioklas ein. Neben diesen Glaukophan-Lagen treten solche aus vorwiegend symplektitischer Hornblende auf, welche einen bereits fortgeschrittenen Abbauprozess der ursprünglichen Mineralparagenesen anzeigen. In diesen Hornblende-Lagen sind vereinzelt Relikte von Na-Amphibol, Paragonit, Epidot, aber auch von Omphazit ausfindig zu machen. Zwischen den einzelnen Lagen können Bereiche mit hohen Epidot- und Karbonatanteilen eingeschaltet sein. Im Druckschatten der Granatkristalle sind manchmal auch quarzreiche Domänen zu erkennen. Akzessorische Bestandteile der Matrix sind Rutil und Titanit sowie eine Opakphase (Ilmenit).

7.2 Mineralchemie des eklogitischen Amphibolits

Granat

Die relikthischen Granate des Amphibolits weisen einen konzentrischen Zonarbau auf, der vor allem durch einen Anstieg des Almandingehaltes vom Kristallrand zum -zentrum hin charakterisiert ist. Dieser beläuft sich im Falle des analysierten Kristalles (Abb. 3) auf 6 % (Rand: 61 %, Kern: 67 %). Der Pyropgehalt erfährt demgegenüber eine Senkung von 14 auf 9 %, und der Grossulargehalt fällt von 25 auf 20 %. Die Konzentration von Spessartin steigt entlang des Meßprofils von 0,4 auf 3,8 % an. Das Verhältnis von FeO zu FeO + MgO variiert zwischen 0,83 und 0,93. Einige repräsentative Granatanalysen sind in Tabelle 2 aufgelistet.

Pyroxen

Die in den Granaten eingeschlossenen Pyroxene weisen Jadeitgehalte zwischen 33 und 45 % auf, wohingegen der Anteil der Akmitkomponente zwischen 10 und 15 % beträgt. Eine Eintragung aller Pyroxenanalysen in das Klassifikationsdiagramm von ESSENE & FYFE (1967) führt zu einer Anhäufung der Punkte im Omphazitfeld (Abb. 4A). Deutlich analysierbar sind chemische Unterschiede zwischen zentral und randlich eingeschlossenen Omphaziten. Diese betreffen vor allem den Jadeitgehalt, welcher einen Anstieg um 10 bis 12 % erfährt. Das Verhältnis von Mg zu Mg + Fe²⁺ bleibt hingegen relativ konstant und nimmt Werte um 0,72 an. Im äußersten Randbereich der Granate sind keine Pyroxeneinschlüsse anzutreffen. Einige für die Geothermobarometrie verwendete Omphazitanalysen sind in Tabelle 2 dargestellt.

Die in der Matrix auftretenden und randlich symplektitisierten Pyroxene weisen einen nahezu identischen Chemismus wie die Einschlußphasen auf. Die Gehalte an Jadeit schwanken hier zwischen 35 und 42 %, während jene von Akmit zwischen 10 und 17 % variieren.

Amphibol

Bei den im Granat eingeschlossenen Amphibolen handelt es sich vorwiegend um Glaukophane (Abb. 4B, Tab. 2), die durch folgende Parameter charakterisiert sind: Mg/(Mg + Fe²⁺) 0,55 bis 0,75; Na/(Na + Ca)^{M4} 0,69 bis 0,92; Na^A durchschnittlich 0,13; Na^{M4} > 1,50. Zudem treten als Einschlüsse noch Ca-Na-Amphibole auf, deren Besetzung der A-Position zwischen 0,45 und 0,77 schwankt. Mg/(Mg + Fe²⁺) dieser Kristalle reicht von 0,50 bis 0,58. Nach der Nomenklatur von LEAKE (1997) handelt es sich hierbei um Ferropargasite bis Tschermakite (Abb. 4 D). Randliche Einschlüsse dieser Hornblenden unterscheiden sich von zentralen durch erhöhte Gehalte an tetraedrischem Al, welche Werte bis 2,079 erreichen.

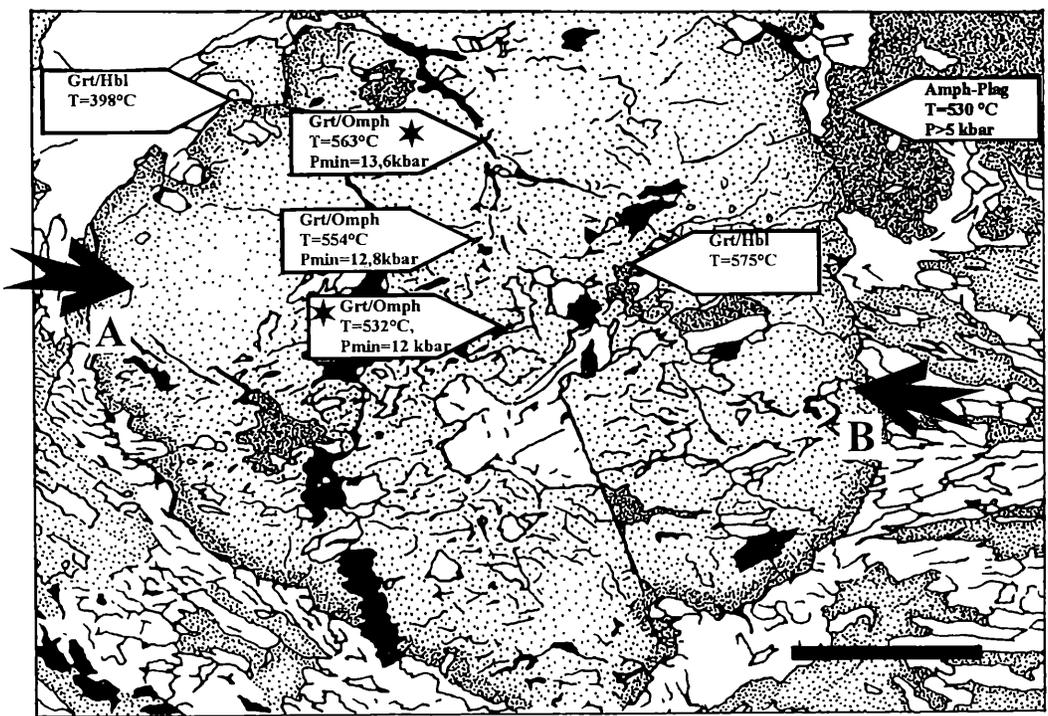
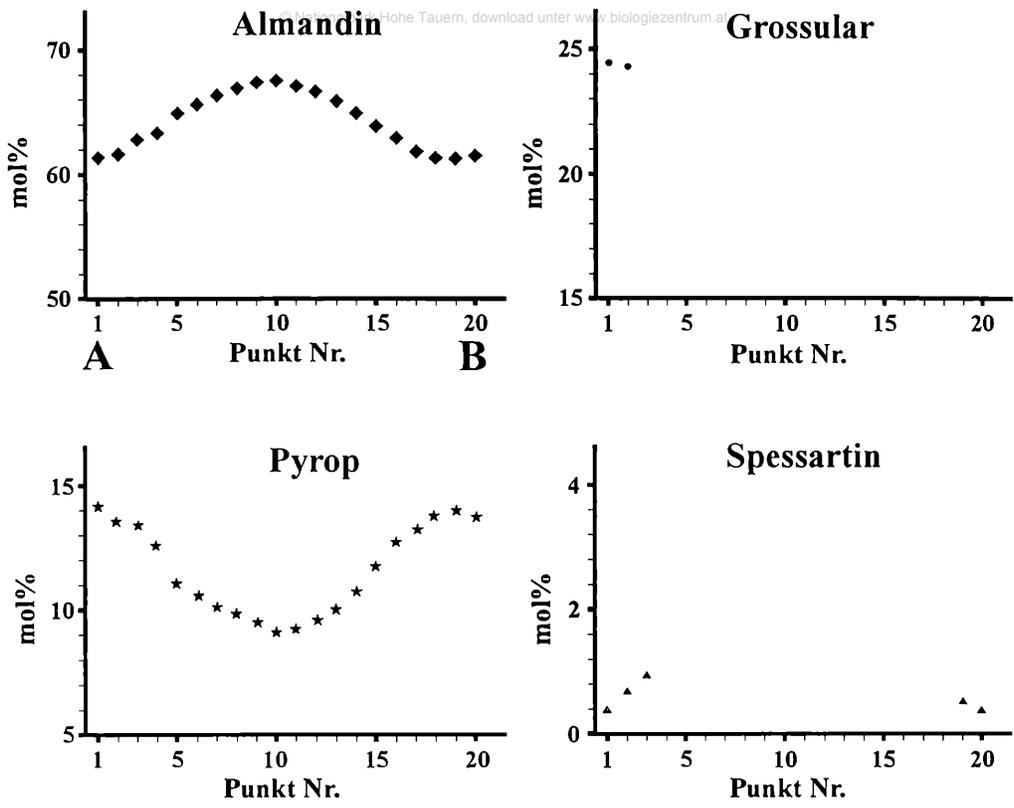


Abb. 3: Mineralchemische und geothermobarometrische Untersuchungen eines Granats, seiner Einschlüsse und seiner umgebenden Matrix (Balken: 1 mm). Pfeile kennzeichnen die Lage von koexistierenden Mineralpaaren (Abkürzungen siehe Abb. 2) und enthalten berechnete Druck- und Temperaturwerte. Mineralpaare mit Stern sind in Tabelle 2 enthalten.

Fig. 3: Crystal-chemical and geothermobarometric investigation of a garnet, its inclusions, and its surrounding matrix (Bar: 1 mm). Arrows indicate the position of coexisting mineral pairs (abbreviations see fig. 2) and include the calculated values for pressure and temperature. Pairs signed with an asterisk are included in table 2.

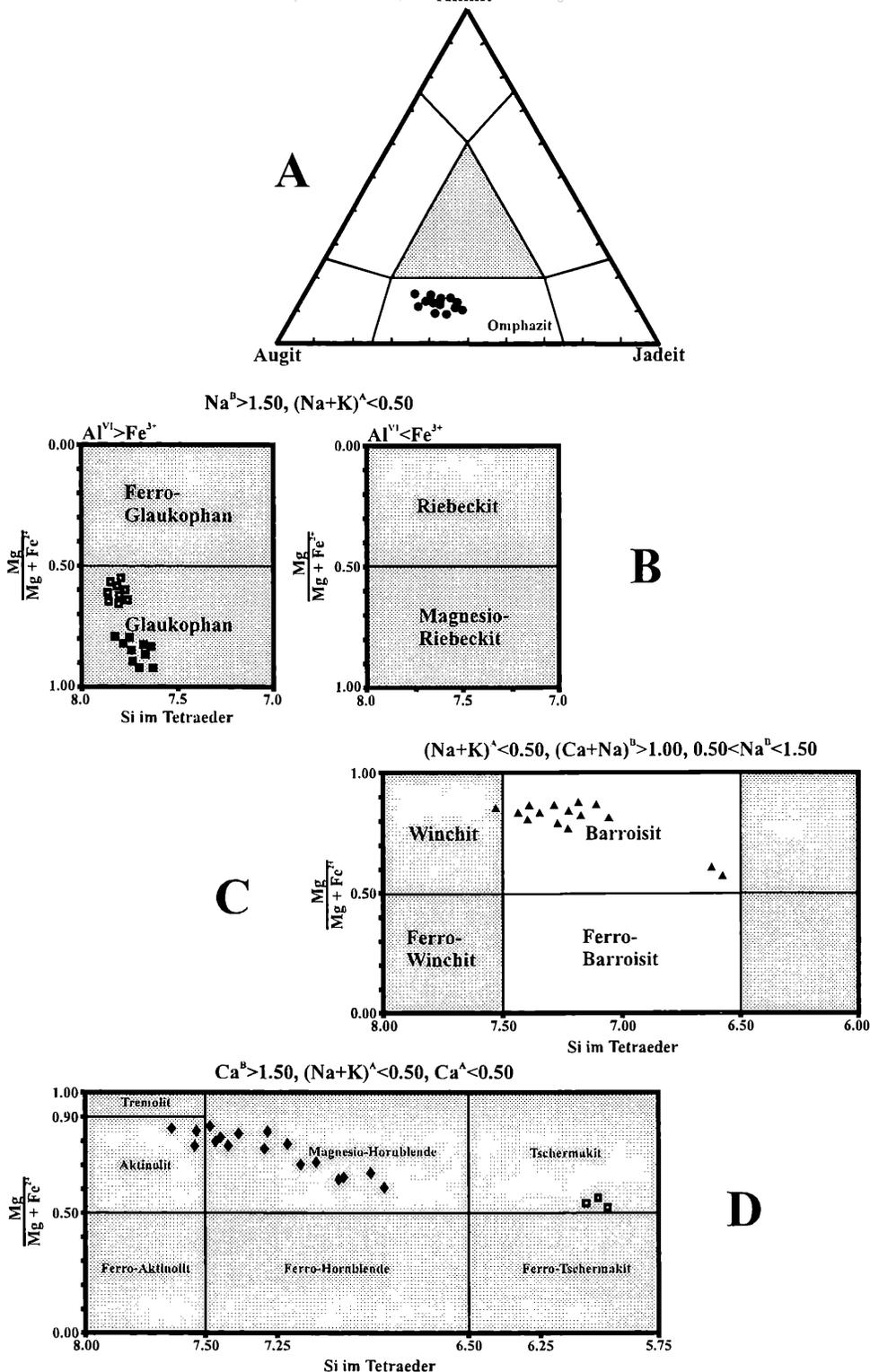


Abb. 4: Diagramme zur Darstellung des Chemismus der reliktschen Pyroxene (A) (ESSENE & FYFE 1967) und der Amphibole (B-D) (LEAKE 1997). Offene Kästchen kennzeichnen Einschlußamphibole, geschlossene Kästchen, Dreiecke und Karos die verschiedenen Matrixamphibole.

Fig. 4: Diagrams showing the chemical composition of the pyroxene relics (A) (ESSENE & FYFE 1967) and the amphiboles (B-D) (LEAKE 1997). Open squares represent the included amphiboles, closed squares, triangles, and diamonds the various amphiboles in the matrix.

Die Glaukophane in der Matrix (Abb. 4B) zeigen eine geringere Besetzung der A-Position durch Na (0,05 bis 0,10), jedoch ein höheres $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$ -Verhältnis (0,78 bis 0,85); das $\text{Na}/(\text{Na} + \text{Ca})^{\text{M}4}$ -Verhältnis beläuft sich durchschnittlich auf 0,86. Die mit Glaukophan koexistierenden Amphibolphasen sind Barroisit, Winchit sowie Aktinolit (Abb. 4C, D) mit jeweils deutlich reduziertem $\text{Na}/(\text{Na} + \text{Ca})^{\text{M}4}$ -Verhältnis (0,15-0,40).

Die feinkörnigen symplektitischen Amphibole sind zum überwiegenden Teil Magnesio-Hornblenden mit durchschnittlichem Na^{A} von 0,20, $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Ca})^{\text{M}4}$ von 0,38 bis 0,45 und $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$ von 0,56 bis 0,68 (Abb. 4D).

Hellglimmer und Epidot

Bei dem im eklogitischen Amphibolit auftretenden Hellglimmer handelt es sich ausschließlich um Paragonit mit einem $\text{Na}/(\text{Na} + \text{K})$ -Verhältnis von durchschnittlich 0,98 und Si-Gehalten pro Formeleinheit zwischen 3,007 und 2,963. Der $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})$ -Wert schwankt zwischen 0,80 und 0,95 und ist bei in Granat eingeschlossenem Paragonit in der Regel etwas höher als bei jenem in der Matrix. Auch bei Epidot ist eine chemische Differenzierung zwischen Einschluß- und Matrixphase möglich. Bei ersteren Kristallen variiert das $\text{Al}/(\text{Al} + \text{Fe}^{3+})$ -Verhältnis zwischen 0,82 und 0,91. Randliche Einschlüsse weisen dabei ein höheres Verhältnis als zentrale auf. In Epidoten der Matrix reicht der $\text{Al}/(\text{Al} + \text{Fe}^{3+})$ -Wert von 0,88 bis 0,92.

7.3 Geothermobarometrie

Für die Druck-Temperatur-Berechnungen wurde der in Abbildung 3 skizzierte reliktsche Granat mit der ihn umgebenden Matrix herangezogen. Die Positionen einzelner Meßpunkte sind durch Pfeile markiert. Die geothermobarometrische Erfassung des Eklogitstadiums erfolgt mit Hilfe des im Granat eingeschlossenen Omphazits. Die Anwendung des Granat-Klinopyroxen-Fe/Mg-Austauschthermometers (BERMAN et al. 1995) auf zentrale Einschlüsse und ihre jeweils koexistierende Granatphase ergibt Temperaturen im Bereich von 520 bis 550 °C (Abb. 3, Tab. 2). Die aus den Jadeitgehalten der Omphazite errechneten Minimaldrücke schwanken zwischen 12 und 12,5 kbar. Bei den randlichen Einschlüssen und ihren im Gleichgewicht stehenden Granatphasen bewegen sich die Temperaturen zwischen 550 und 600 °C und die Minimaldrücke zwischen 13 und 14 kbar. Den Daten zufolge muß das Granatwachstum während des prograden Metamorphoseverlaufes stattgefunden haben. Die Temperatur des blauschieferfaziellen Stadiums kann durch die Messung von Granat und randlich koexistierendem Amphibol ermittelt werden. Das entsprechende Fe/Mg-Austauschthermometer (GRAHAM & POWELL 1984) liefert Werte zwischen 380 und 420 °C. Eine Druckberechnung ist für dieses Metamorphosestadium aufgrund des Fehlens geeigneter Barometer nicht möglich. Der Druck kann jedoch in Einklang mit bereits bestehenden Literaturdaten für die Untere Schieferhülle (z.B. SELVERSTONE 1985) mit 8 bis 10 kbar abgeschätzt werden. Die Erfassung der Druck-Temperatur-Bedingungen des dritten Metamorphosestadiums, welches z. B. durch die Symplektitisierung der Amphibole und reliktschen Omphazite gekennzeichnet ist, wird durch die gezielte Analyse der symplektitischen Magnesio-Hornblenden sowie des koexistierenden Plagioklases und Epidotes ermöglicht. Mit Hilfe des Amphibol-Plagioklas-Thermometers (SPEAR 1980, HOLLAND & BLUNDY 1994) sind hier bei 5 kbar Temperaturwerte zwischen 520 und 560 °C festzustellen (Abb. 5). Die Abbaureaktion von Glaukophan und Quarz zu Anthophyllit, Albit und Wasser befindet sich im gleichen Temperaturbereich. Die für dieses Ereignis mit Hilfe des Geothermobarometers von TRIBOULET (1992) kalkulierten Druckdaten schwanken zwischen 5 und 7 kbar. In Abbildung 6 sind die für die drei Metamorphoseereignisse berechneten bzw. abgeschätzten Druck-Temperatur-Daten in einem p-T-Diagramm dargestellt. Mit eingezeichnet ist auch ein erster provisorischer p-T-Pfad, dessen Verlauf jedoch noch als sehr unsicher erachtet werden muß. In Abbildung 7 sind vier Blockbilder aufgezeichnet, welche die während der einzelnen Metamorphosestadien ablaufenden tektonischen Ereignisse veranschaulichen sollen (nach SELVERSTONE 1985).

	Granat-Klinopyroxen-Thermometrie				Amphibole				Minerale der Matrix		
	Koexistierende Mineralpaare				Einschlüsse		Matrix				
	Omph (Z)	Grt (Z)	Omph (R)	Grt (R)	Parg	Glau	Glau	Hbl	Parag	Ep	Plag
SiO ₂	55,46	38,09	55,62	37,86	40,27	55,80	58,30	46,92	48,03	38,33	68,56
TiO ₂	0,05		0,03	0,01	0,22	0,03	0,03	0,16	0,05	0,05	0,05
Al ₂ O ₃	7,15	21,05	9,82	21,10	18,70	9,88	10,61	10,56	40,55	27,42	19,56
FeO (total)	9,87	28,56	8,89	27,95	17,22	9,87	7,68	14,92	0,56	7,37	0,04
MgO	7,46	3,39	6,94	3,72	6,98	11,74	12,40	11,43	0,13	0,18	
MnO	0,07	0,67	0,05	0,72	0,09	0,03		0,14			
CaO	13,00	8,06	10,23	8,22	9,89	3,98	2,45	10,51	0,20	23,32	0,52
Na ₂ O	6,70		7,82		3,35	5,71	5,81	2,51	6,77		11,38
K ₂ O			0,02		0,26	0,07	0,04	0,13	0,38		
Summe	100,28	99,82	99,42	99,58	96,98	97,11	96,32	97,28	96,67	96,75	100,11
O-Basis	6	12	6	12	23	23	23	23	11	25	8
Si	2,011	3,012	2,001	3,001	5,993	7,779	7,917	6,844	3,010	6,007	2,991
Al ^{IV}					2,007	0,221	0,083	1,156			1,006
Al ^{VI}	0,306	1,962	0,416	1,971	1,272	1,403	1,615	0,660	2,996	5,046	
Ti	0,001		0,001	0,001	0,025	0,003	0,003	0,018	0,002	0,006	0,002
Fe ³⁺	0,140		0,127		0,516	0,067	0,213	0,442		0,966	
Fe ²⁺	0,159	1,869	0,141	1,853	1,627	1,084	0,660	1,378	0,029		0,001
Mg	0,403	0,435	0,372	0,440	1,548	2,440	2,510	2,486	0,012	0,042	
Mn	0,002	0,045	0,002	0,048	0,011	0,004		0,017			
Ca	0,505	0,663	0,394	0,698	1,577	0,594	0,356	1,643	0,013	3,915	0,024
An	0,471		0,545		0,967	1,543	1,530	0,710	0,823		0,962
K			0,001		0,049	0,012	0,007	0,024	0,030		

Tab. 2: Repräsentative chemische Analysen einiger Einschluß- und Matrixphasen (Abkürzungen siehe Abb. 2; Parg = Pargasit, Parag = Paragonit, Ep = Epidot, Plag = Plagioklas)

Table 2: Representative chemical analyses of some inclusion and matrix phases (abbreviations see Fig. 2: Parg = pargasite, Parag = paragonite, Ep = epidote, Plag = plagioclase)

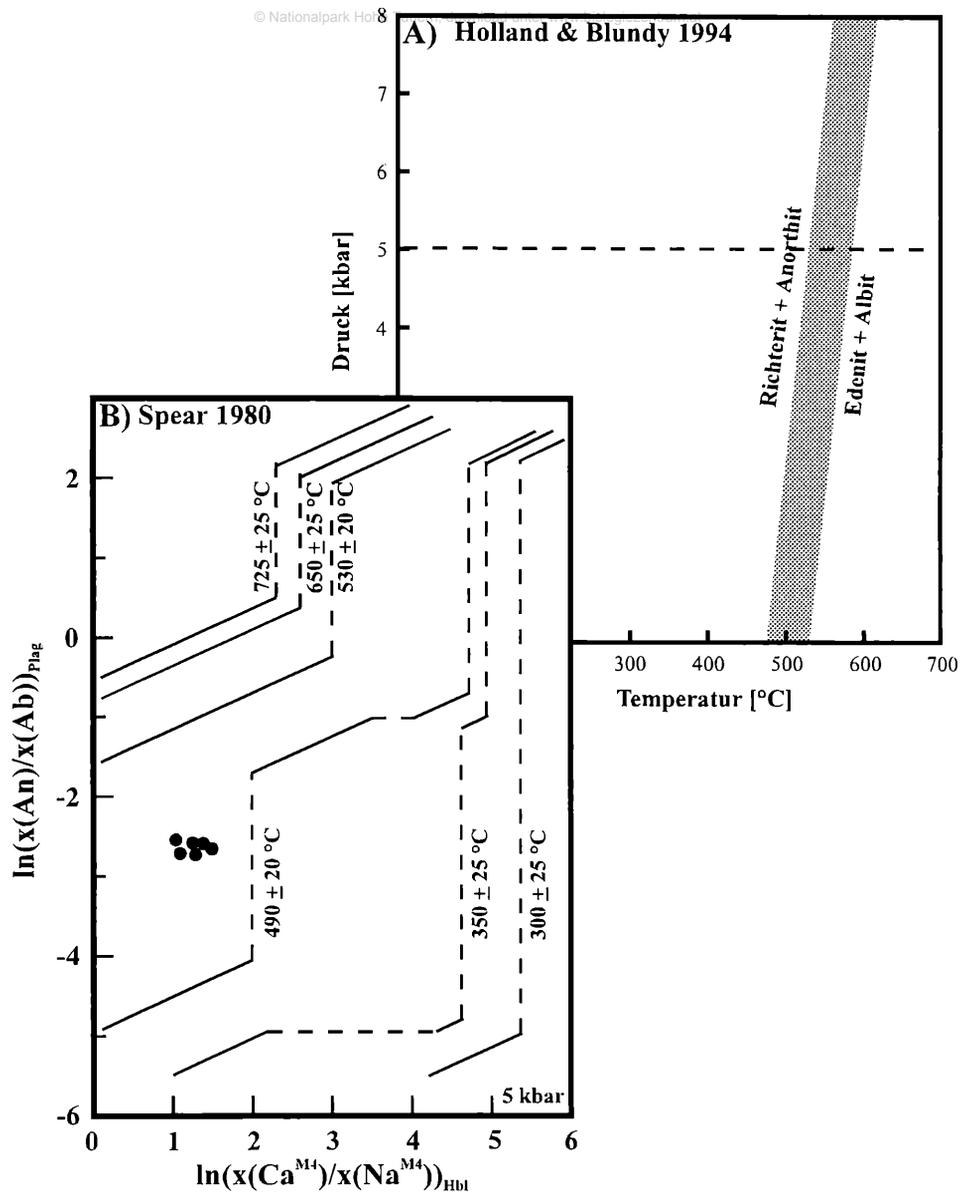


Abb. 5: Amphibol-Plagioklas-Geothermometer nach HOLLAND & BLUNDY (1994) (A) mit eingetragener Reaktionsisograde bzw. nach SPEAR (1980) (B) mit eingezeichneten koexistierenden Amphibol-Plagioklas-Paaren

Fig. 5: Amphibole-plagioclase geothermometer according to HOLLAND & BLUNDY (1994) (A) with calculated isograde of the reaction edenite + albite = richterite + anorthite and according to SPEAR (1980) (B) with plotted coexisting amphibole-plagioclase pairs

8 Diskussion

Wie die erhaltenen Resultate zeigen, wurden neben den Gesteinen der Eklogitzone auch solche der Unteren Schieferhülle von einem eklogitfaziellen Metamorphoseereignis erfaßt, welches jedoch nur mehr anhand spärlicher Relikte nachgewiesen werden kann. Die Glaukophan-reiche Matrix des untersuchten Amphibolits weist weiters auf ein blauschieferfazielles Ereignis hin, durch das Teile der Unteren Schieferhülle noch vor dem Einsetzen der „Tauernkristallisation“ geprägt wurden. Dieses letzte, durch die Überschiebung des ostalpinen Deckenstapels verursachte amphibolitfazielle Metamorphosestadium wird vorwiegend durch die randliche Symplektitisierung des Glaukophans sowie den Abbau des in der Matrix erhalten gebliebenen Omphazits angezeigt.

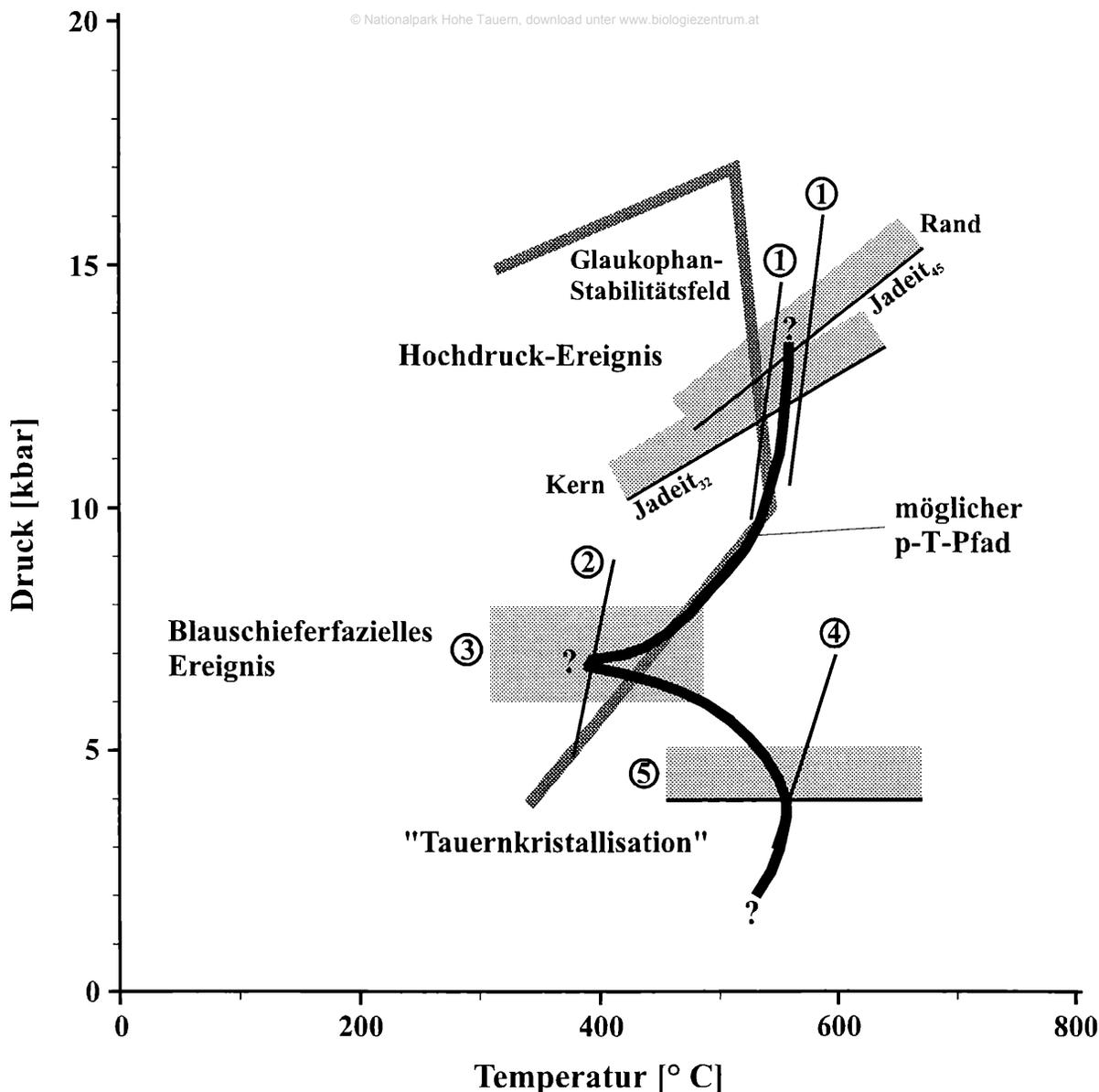


Abb. 6: Druck-Temperatur-Diagramm mit den für die einzelnen Metamorphosestadien berechneten bzw. geschätzten geothermobarometrischen Daten. 1: Granat-Klinopyroxen-Thermometer, 2: Granat-Amphibol-Thermometer, 3: Druckbereich für blauschieferfazielles Ereignis laut Literatur, 4: Amphibol-Plagioklas-Thermometer, 5: (Na-Ca)-Amphibol-Albit-Chlorit-Epidot-Quarz-Geothermobarometer. Eingezeichnet ist auch ein erster, noch nicht belegter p-T-Pfad.

Fig. 6: Pressure-temperature diagram with the calculated and estimated p-T-data for the single metamorphic events. 1: garnet-clinopyroxene thermometer, 2: garnet-amphibole thermometer, 3: pressure range for the blueschist-facies event according to the literature, 4: amphibole-plagioclase thermometer, 5: (Na-Ca)amphibole-albite-chlorite-epidote-quartz geothermobarometer. Additionally, a first p-T path is drawn.

Die bisher gewonnenen geothermobarometrischen Daten weisen auf einen typischen, im Uhrzeigersinn verlaufenden Druck-Temperatur-Pfad hin (Abb. 7). Mit den Ergebnissen dieser Studie läßt sich jedoch noch nicht belegen, ob es sich hierbei auch sicher um einen einaktigen Pfad handelt. ZIMMERMANN et al. (1994) beschreiben für die Eklogitzone einen ähnlichen Pfad, wobei das Hochdruckereignis dort jedoch durch Drücke um 20 kbar und Temperaturen um 600 °C gekennzeichnet ist (berechnet aus Mineralreaktionen), also höhere p-T-Werte erreicht als im vorliegenden Fall. ZIMMERMANN &

FRANZ (1989) untersuchten Eklogite der Unteren Schieferhülle im Frosnitztal (Osttirol). Durch Anwendung ähnlicher Geothermo- und Geobarometer wie in der vorliegenden Arbeit sind die Autoren in der Lage, für das eklogitfazielle Ereignis Mindestdrücke von 9 bis 12 kbar bei 400 bis 500 °C zu errechnen, weisen jedoch auf die experimentelle Eichung des verwendeten Granat-Klinopyroxen-Thermometers bei wesentlich höheren Temperaturen und demzufolge bestehende größere Unsicherheiten hin. Zieht man dies in Betracht, so scheint doch zumindest eine grobe Korrelation zwischen den Daten von ZIMMERMANN & FRANZ (1989) und den hier präsentierten Werten zu bestehen. Einen Überblick über Druck-Temperatur-Berechnungen in den anderen tektonometamorphen Einheiten des Tauernfensters geben HOINKES et al. (1999). Im östlichen Tauernfenster konnten bislang Maximaldrücke zwischen 8 und 10 kbar, im westlichen Fenster hingegen Werte zwischen 10 und 12 kbar berechnet werden.

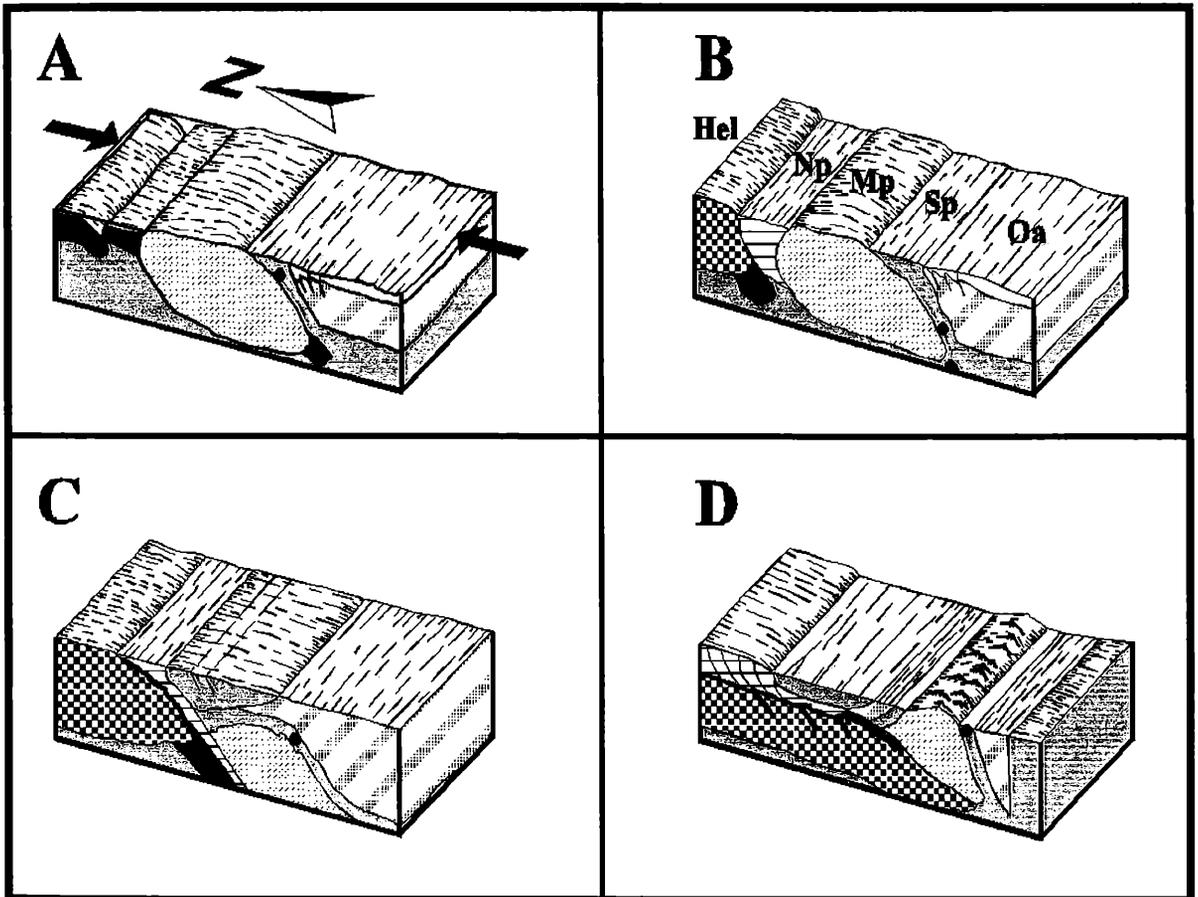


Abb. 7: Blockbilder zur Veranschaulichung der tektonischen Ereignisse während der einzelnen Metamorphosestadien (nach SELVERSTONE 1985): A) Drift der Adriatischen Platte gegen die Europäische Platte und Subduktion des penninischen Ozeans. B) Gesteine der Unteren Schieferhülle (Punkt) erreichen eklogitfazielles Niveau. C) Hebung der Gesteine auf blauschieferfazielles Niveau. D) Weitere Hebung und Freilegung der Gesteine nach Erosion des überlagernden ostalpinen Deckenstapels. Abkürzungen: Hel = Helvetikum, Np = Nordpenninikum, Mp = Mittelpenninikum, Sp = Südpenninikum, Oa = Ostalpin

Fig. 7: Block diagrams showing the tectonic events during the single stages of metamorphism (after SELVERSTONE 1985): A) Drifting of the Adriatic plate against the European plate. B) The rocks of the Lower Schieferhülle (dot) reach the eclogite facies niveau. C) Uplift of the rocks into the blueschist facies niveau. D) Further uplift and exhumation of the rocks after erosion of the overthrusted Austroalpine nappes. Abbreviations: Hel = Helveticum, Np = Northern Penninicum, Mp = Middle Penninicum, Sp = Southern Penninicum, Oa = Austroalpine

Über die zeitliche Einordnung der Metamorphoseereignisse in diesem Bereich der Unteren Schieferhülle können aufgrund des Fehlens geochronologischer Daten keine exakten Aussagen gemacht werden. Es wird jedoch vermutet, daß die Ereignisse zeitlich mehr oder weniger eng an jene der Eklogitzone gekoppelt sind, wo die „Tauernkristallisation“ vor 27 bis 29 Millionen Jahren ihr thermisches Maximum erreichte (INGER & CLIFF 1994). Die eklogit- und glaukophanschieferfaziellen Stadien sind nach Meinung einer Vielzahl von Autoren (z.B. RAITH et al. 1980) als kretazisch (65 bis 90 Millionen Jahre) einzustufen. Zur Klärung dieses Problems sowie der genauen tektonischen Entwicklung (Ergebnisse für dieses Gebiet wurden von KURZ et al. 1996 bzw. 1998 erzielt) und letztlich auch zur Sicherung der bisherigen Druck-Temperatur-Daten sind in Zukunft noch umfangreiche Studien notwendig.

9 Literatur

- BERMAN, R.G., ARANOVICH, L.Y. & PATTISON, D.R.M. (1995): Reassessment of the garnet-clinopyroxene Fe-Mg exchange thermometer: II. Thermodynamic analysis. - *Contrib. Mineral. Petrol.* 119: 30-42.
- BICKLE, M.J. & POWELL, R. (1977): Calcite-dolomite geothermometry for iron-bearing carbonates. The Glockner Area of the Tauern Window, Austria. - *Contrib. Mineral. Petrol.* 59: 281-292.
- CORNELIUS, H.P. & CLAR, E. (1939): Geologie des Großglocknergebietes (1. Teil). - *Abh. Zweiganst. Wien d. Rst. F. Bdforsch. (Geol. B.-A.)* 25: 1-305.
- DACHS, E. (1990): Geothermobarometry in metasediments of the southern Grossvenediger area (Tauern Window, Austria). - *J. metamorphic Geol.* 8: 217-230.
- DROOP, G.T.R. (1987): A general equation for estimating Fe³⁺ concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria. - *Mineral. Mag.* 51: 431-435.
- ESSENE, E.J. & FYFE, W.S. (1967): Omphacite in Californian metamorphic rocks. - *Contrib. Mineral. Petrol.* 15: 1-23.
- FRANK, W., HÖCK, V. & MILLER, CH. (1987): Metamorphic and tectonic history of the Central Tauern Window. - In: FLÜGEL, H.W. & FAUPL, P.: *Geodynamics of the Eastern Alps*. Franz Deuticke, Wien: 34-54.
- GRAHAM, C.L. & POWELL, R. (1984): A garnet-hornblende geothermometer: calibration, testing, and application to the Pelona Schist, southern California. - *J. metamorphic Geol.* 2: 13-21.
- HÖCK, V. (1974): Zur Metamorphose mesozoischer Metasedimente in den mittleren Hohen Tauern (Österreich). - *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.* 54: 567-593.
- HÖCK, V. (1980): Distribution maps of minerals of the Alpine metamorphism in the penninic Tauern Window, Austria. - *Mitt. Österr. Geol. Ges.* 71/72: 119-127.
- HÖCK, V. & MILLER, CH. (1987): Mesozoic ophiolitic sequences and non-ophiolitic metabasites in the Hohe Tauern. - In: FLÜGEL, H.W. & FAUPL, P.: *Geodynamics of the Eastern Alps*. Franz Deuticke, Wien: 16-33.
- HOINKES, G., KOLLER, F., RANTITSCH, G., DACHS, E., HÖCK, V., NEUBAUER, F. & SCHUSTER, R. (1999): Alpine Metamorphism of the Eastern Alps. - *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.* 79: 155-181.
- HOLLAND, T.J.B. (1979): High water activities in the generation of high pressure kyanite eclogites of the Tauern Window, Austria. - *J. Geol.* 87/1: 1-27.
- HOLLAND, T.J.B. (1980): The reaction albite = jadeite + quartz determined experimentally in the range 600-1200 °C. - *Am. Min.* 65: 129-134.
- HOLLAND, T.J.B. & BLUNDY, J. (1994): Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry. - *Contrib. Mineral. Petrol.* 116: 433-447.
- INDARES, A. & MARTIGNOLE, J. (1985): Biotite-garnet geothermometry in granulite facies rocks: evaluation of equilibrium criteria. - *Can. Mineral.* 23: 187-193.
- INGER, S. & CLIFF, R.A. (1994): Timing of Metamorphism in the Tauern Window, Eastern Alps: Rb-Sr-ages and fabric formation. - *J. metamorphic Geol.* 12: 695-707.

- KURZ, W., NEUBAUER, F. & GENSER, J. (1996): Kinematics of Penninic nappes (Glockner Nappe and basement-cover nappes) in the Tauern Window (Eastern Alps, Austria) during subduction and Penninic-Austroalpine collision. - *Eclogae geol. Helv.* 89: 573-605.
- KURZ, W., NEUBAUER, F., GENSER, J. & DACHS, E. (1998): Alpine geodynamic evolution of passive and active continental margin sequences in the Tauern Window (Eastern Alps, Austria, Italy). *Geol. Rundsch.* 85: 225-242.
- LEAKE, B.E. (1997): Nomenclature of amphiboles: Report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names. - *Can. Mineral.* 35: 219-246.
- RAITH, M., MEHRENS, CH. & THÖLE, W. (1980): Gliederung, tektonischer Bau und metamorphe Entwicklung der penninischen Serien im südlichen Venediger-Gebiet, Osttirol. - *Jb. Geol. B.-A.* 123: 1-37.
- SELVERSTONE, J. (1985): Petrologic constraints on imbrication, metamorphism and uplift in the SW Tauern Window, Eastern Alps. - *Tectonics* 4: 687-704.
- SPEAR, F.S. (1980): NaSi = CaAl exchange equilibrium between plagioclase and amphibole. - *Contrib. Mineral. Petrol.* 72: 33-41.
- SPEAR, F.S. & FRANZ, G. (1986): P-T evolution of metasediments from the Eclogite Zone, southcentral Tauern Window, Austria. - *Lithos* 19: 219-234.
- ST-ONGE, M.R. (1986): Zoned poikiloblastic Garnets: P-T paths and syn-metamorphic uplift through 30 km of structural depth, Wopmay orogen, Canada. - *J. Petrol.* 28: 1-22.
- STURM, R., DACHS, E. & KURZ, W. (1996): Untersuchung von Hochdruckrelikten in Grüngesteinen des Großglocknergebietes: Erste Ergebnisse. - *TSK 6* (Facultas-Verlag): 412-415.
- STURM, R., DACHS, E. & KURZ, W. (1997): Untersuchungen von Hochdruckrelikten in Grüngesteinen des Großglocknergebietes (zentrales Tauernfenster, Österreich). - *Zbl. Geol. Paläont.* 3/4: 345-363.
- TINDLE, A.G. & WEBB, P.C. (1994): Probe-Amph - A spreadsheet program to classify microprobe-derived amphibole analyses. - *Comp. Geosci.* 20: 1201-1228.
- TRIBOULET, C. (1992): The (Na-Ca)amphibole-albite-chlorite-epidote-quartz geothermobarometer in the system S-A-F-M-C-N-H₂O. 1. An empirical calibration. - *J. metamorphic Geol.* 10: 545-556.
- ZIMMERMANN, R. & FRANZ, G. (1989): Die Eklogite der Unteren Schieferhülle; Frosnitzal/Südvenediger (Tauern, Österreich). - *Mitt. Österr. Geol. Ges.* 81: 167-188.
- ZIMMERMANN, R., HAMMERSCHMIDT, K. & FRANZ, G. (1989): Eocene high pressure metamorphism in the Penninic units of the Tauern Window (Eastern Alps). Evidence from ⁴⁰Ar-³⁹Ar dating and petrological investigations. *Contrib. Mineral. Petrol.* 117: 175-186.

Adresse des Autors

Mag. Robert Sturm
Brunnleitenweg 41
A-5061 Elsbethen
E-mail: Robert.Sturm@sbg.ac.at

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Nationalpark Hohe Tauern - Wissenschaftliche Mitteilungen Nationalpark Hohe Tauern](#)

Jahr/Year: 1999

Band/Volume: [5](#)

Autor(en)/Author(s): Sturm Robert

Artikel/Article: [Untersuchung reliktsicher Hochdruckparagenesen in Gesteinen des Dorfertaales \(Kaiser Tal, Osttirol\) 7-21](#)