

Zur Altersstellung des Winnebach-Migmatits im Ötztal (Ostalpen)

Von FRANK SÖLLNER*), KLAUS SCHMIDT*), ALBRECHT BAUMANN**)

& BENT TAUBER HANSEN**)

Mit 6 Abbildungen

Ötztal

Ötztalkristallin

Migmatit

Geochronologie

Petrogenese

Österreichische Karte 1 : 50.000
Blatt 146

Zusammenfassung

Neue geochronologische Untersuchungen am Winnebach-Migmatit in den Ötztaler Alpen ergaben ein Alter von 460 ± 34 Mio. Jahren (Ordovizium). Damit ist ein Zusammenhang zwischen dieser Anatexis und der postkinematischen Mineralbildung im Ötztal-Kristallin auszuschließen. Der Winnebach-Migmatit bietet auch die Möglichkeit, eine ordovizische high grade Paragenese (680°C ; 4,8–5,5 kb) zu konstruieren.

Summary

Age determinations of the Winnebach-migmatite in the Ötztaler Alps yield an age of 460 ± 34 m.a. (Ordovician). Thus a genetic relationship between this anatexis and the postkinematic mineralization of the Ötztal crystalline complex can be excluded. Petrological investigations in the Winnebach migmatite furthermore permit the reconstruction of an Ordovician high grade paragenesis (680°C ; 4,8–5,5 kb).

Der Winnebach-Migmatit wurde bisher als jüngstes Glied in der magmatischen Entwicklung des Ötztalkristallins aufgefaßt (HAMMER, 1925; PURTSCHELLER, 1969). Zweifel an dieser zeitlichen Einstufung äußerte GRAUERT (1969), da pinitführende Granitgneise (Mönchalpgranitgneis) der Silvretta seiner Meinung nach älter als alle anderen Magmatite sind.

PURTSCHELLER (1969) vermutete, daß der Winnebach-Granit in enger genetischer Beziehung zu einem Wärmedom steht, dem auch die weit verbreiteten postkinematischen Mineralparagenesen des Ötztal-Kristallins zuzuordnen sind (Abb. 1). Er verwies darauf, daß die umrissenen Paragenese-Domänen dieser medium grade Metamorphose den generellen Strukturverlauf schneiden und daher in Bezug auf die steilachsige Faltung postkinematisch gebildet sein müssen. Eine ähnliche Metamorphose wurde von GREGNANIN & PICCIRILLO (1972) aus den südlichen Ötztaler Alpen und vom Westende der Matscher Decke beschrieben und der variszischen Orogenese zugeordnet.

*) Anschrift der Verfasser: Univ. Prof. Dr. KLAUS SCHMIDT, Dr. FRANK SÖLLNER, Institut für Allgemeine und Angewandte Geologie der Universität, D-8 München 2, Luisenstraße 37.

**) Dr. ALBRECHT BAUMANN, Dr. BENT TAUBER HANSEN, Institut für Mineralogie der Universität, D-44 Münster, Correnstraße 24.

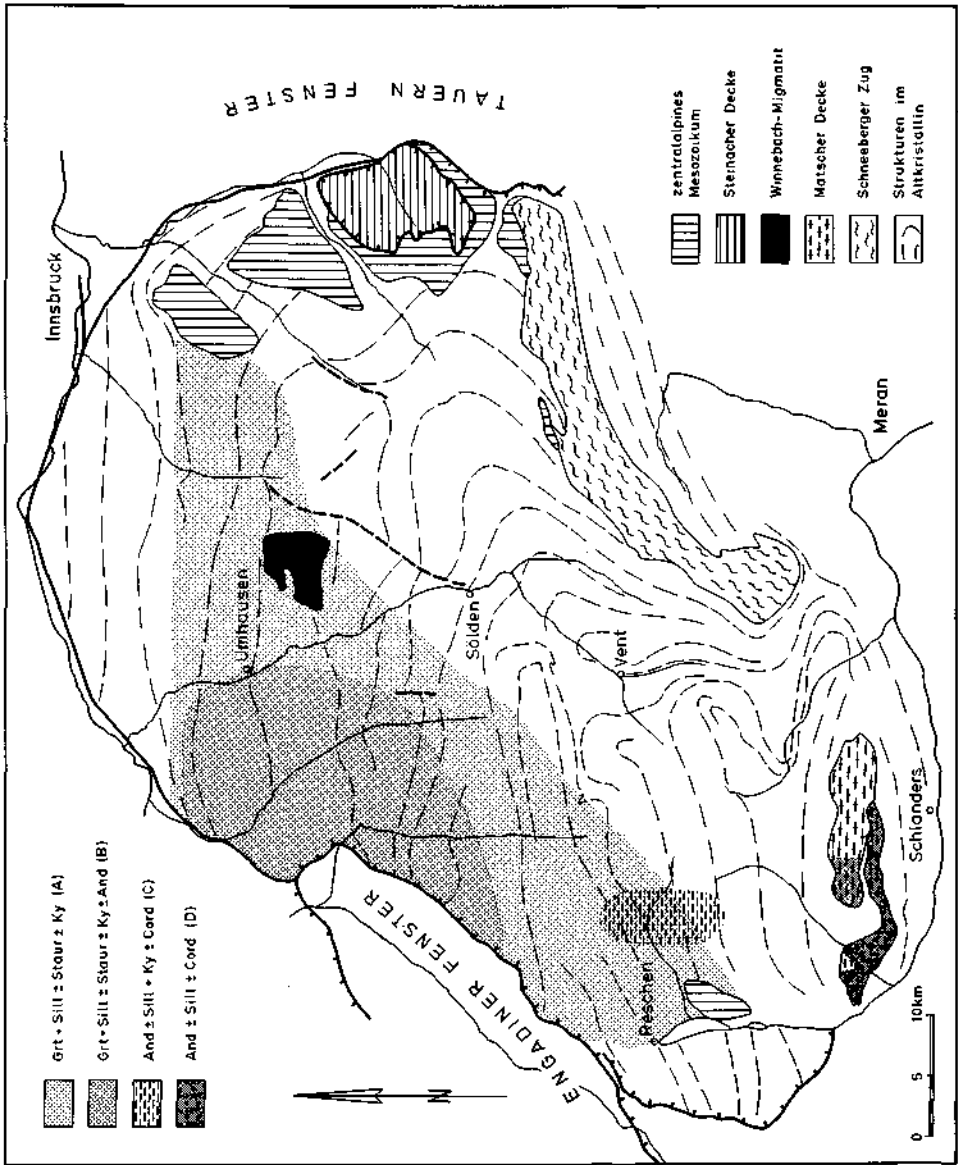


Abb. 1: Strukturkarte des Ötztal-Kristallins mit der Lage des Winnebach-Migmatits. (A) und (B) Mineralzonen der variszischen Metamorphose diskordant zum Großfaltenbau (PURTSCHELLER, 1969); (C) und (D) Arbeitsgebiete im oberen Langtaufferer Tal und in der Matscher Decke mit Mineralparagenesen (GREGNANIN & PICCIRILLO, 1972).

Fig. 1: Tectonic map of the Ötztal crystalline complex with the studied area of Winnebach migmatite. (A) and (B) Hercynian metamorphic zones (PURTSCHELLER, 1969); (C) and (D) investigated areas in the upper Langtaufferer valley and in the Matscher nappe with mineral assemblages (GREGNANIN & PICCIRILLO, 1972).

Nach neuen radiometrischen Untersuchungen (Rb-Sr an Gesamtgesteinsproben, $\lambda^{87}\text{Rb} = 1,42 \cdot 10^{-11} \text{a}^{-1}$) von F. SÖLLNER ergibt sich für den Winnebach-Migmatit ein Alter von 460 ± 34 Mio. Jahren (SÖLLNER & SCHMIDT, 1981; SÖLLNER et al., in Vorbereitung), d.h. die Anatexis fällt in den Zeitraum des altpaläozoischen thermischen Ereignisses (SCHMIDT, 1977). Dieses Ergebnis macht eine Umstellung in der bisher angenommenen tektono-magmatischen Entwicklung des Ötztal-Kristallins notwendig.

An der Existenz eines ordovozisch-silurischen Magmatismus ist heute nicht mehr zu zweifeln (SCHMIDT et al., 1967; PURTSCHELLER & SASSI, 1975; BORSI et al., 1980). Die Intrusionen müssen im Zeitraum zwischen 485–415 Mio. Jahre erfolgt sein.

Der altpaläozoische Magmatismus ist sicher auch von einer Metamorphose begleitet gewesen. Ordovizisch-silurische Altersdaten werden aber auch auf eine unvollständige variszische Rehomogenisierung der Sr-Isotope in assyntisch metamorphen Gesteinen zurückgeführt, z.B. von VAI (in BÖGEL et al., 1979) und DORNSIEPEN (1979). Dazu muß bemerkt werden, daß in den Alpen bisher keine assyntischen Metamorphosealter festgestellt wurden.

Die Bildung des Winnebach-Migmatits wurde bisher nach der Schlingen-Tektonik des Altkristallins angenommen. Sie muß dieser nun vorangestellt werden.

Gefügekundliche Untersuchungen von DRONG (1959) stehen damit in Einklang. DRONG (1959) stellte fest, daß die Migmatite und ihre Hüllgesteine einer symmetriekonstanten Deformation unterworfen wurden. Die im Vergleich mit den Hüllgesteinen steileren B-Achsen im Migmatit lassen sich mit dessen höherer Teilbeweglichkeit erklären. DRONG (1959) stellte fest, daß die steilen Achsen seiner Deformationspläne P1 (Hülle: 25/35–60N; Migmatit: 25/10N–70S) und P2 (Hülle: 110/10–50E; Migmatit: 110/10E–steil) vermutlich auf Schervorgänge zurückzuführen sind, die im Bezug auf die Kristallisation der Glimmer postkristallin erfolgten. Die B-axiale Prägung der Migmatite scheint auch von Bewegungen an der Längenthaler Störung beeinflusst worden zu sein. Diese Deformationen kann man mit der steilachsigen Faltung in Zusammenhang bringen, in deren Verlauf auch in den typischen Schlingen-Strukturen weiter im Süden (Venter-, Marzellschlinge u.a.) steile Achsengefüge, z.T. eine 2. Schieferung entstanden (BAUMANN et al., 1967; FUCHS et al., 1969).

Die Schlingen-Tektonik ist von den meisten Autoren der variszischen Orogenese zugeschrieben worden, ohne daß eine nähere Datierung möglich war.

HELBIG & SCHMIDT (1978) halten aus geologischen Gründen eine steilachsige Faltung vom Mitteldevon an für möglich.

GRAUERT (1981) hat neuerdings eine Präzisierung vorgenommen. Aufgrund radiometrischer Daten von Muskowit-Granit-Gneisen aus der Silvretta- und der Ötztal-Masse kommt er zu dem Schluß, daß die mit dem regionalen steilachsigen Großfaltenbau zusammenhängende Thermo-Dynamo-Metamorphose 375–300 Mio. Jahre (Mitteldevon-Oberkarbon) alt ist. Diese Kristallisationen sind sicher weiter zu gliedern.

DEL MORO et al., (1980) rechnen z.B. in den Südalpen mit einer zweiphasigen variszischen Metamorphose (350 ± 3 Mio. Jahre, 317 ± 16 Mio. Jahre).

Die variszische Metamorphose erreichte die Amphibolifazies (SATIR, 1975) und kann sich unter Umständen bis zur Anatexis gesteigert haben (SATIR & FRIEDRICHSEN, 1981). Die Migmatite des Ultenkammes (Südtirol), deren Diatexite alle Gefüge durchbrechen, sind zweifellos variszisch. Hinweise hierfür bieten auch Zirkonalter aus den Ultramafititen (GEBAUER & GRÜNFELDER, 1978).

Zur variszischen Mineral-Paragenese gehören im Winnebach-Migmatit, in Übereinstimmung mit PURTSCHELLER (1969), Staurolith und Disthen (?). Staurolith tritt in Granat-Biotit-Nestern auf, in denen X_{Fe} höher ist als in den übrigen Gesteinsberei-

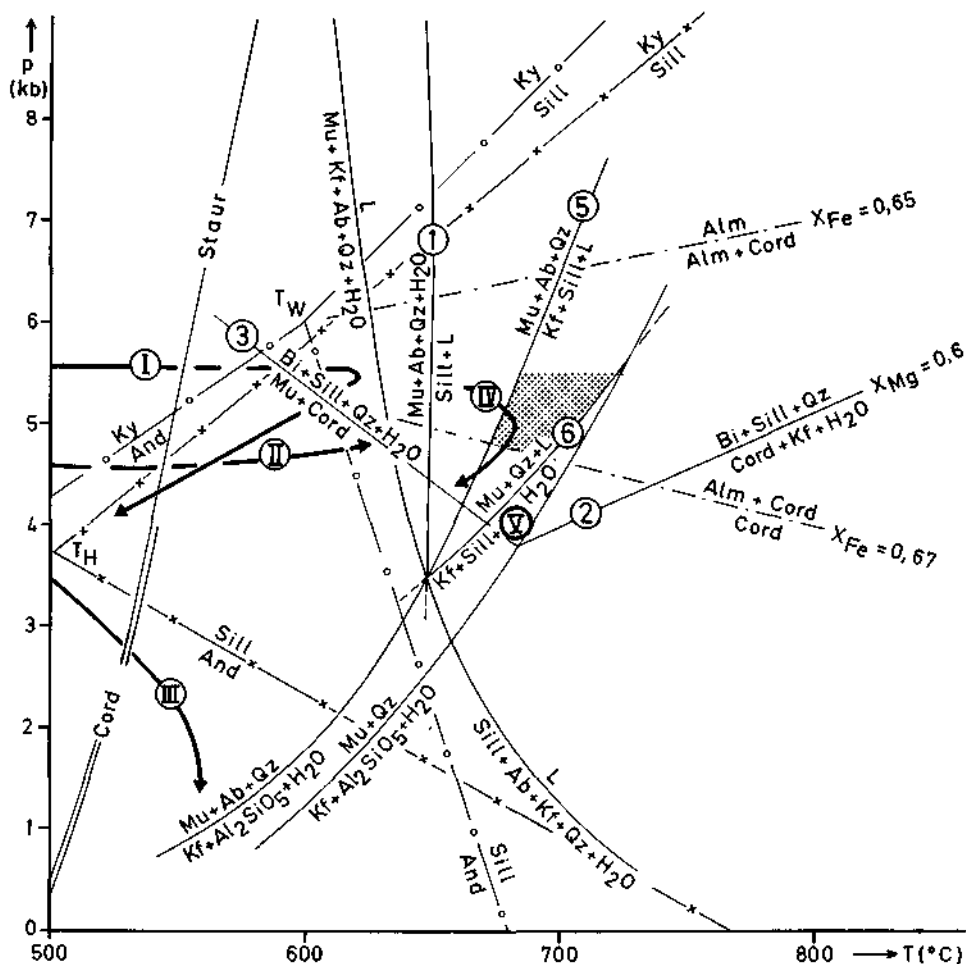


Abb. 2: $p(\text{kb})-T(^{\circ}\text{C})$ -Diagramm. Aus der Mineralparagenese Cord + Alm + Sill + Bi \pm Mu \pm Kf + Pl + Qu lassen sich die p , T -Bedingungen (punktiertes Feld) für die ordovizische Anatexis im Winnebachsee-Gebiet abschätzen.

1, 5, 6, u.a. Gleichgewichtskurven: THOMPSON & ALGOR (1977); 2, 3 Gleichgewichtskurven: HOLDAWAY & LEE (1977); $\text{Mu} + \text{Qz} = \text{Kf} + \text{Al}_2\text{SiO}_5 + \text{H}_2\text{O}$ (ALTHAUS et al., 1970); T_W = Tripelpunkt nach Vorschlag von WINKLER (1979); T_H = Tripelpunkt HOLDAWAY (1971); Stabilität von Alm + Cord (CURRIE, 1971); I, II, III Druck- und Temperaturverlauf der varistischen Metamorphose in den Ostalpen nach PURTSCHELLER (1969), GREGNANIN & PICCIRILLO (1972) und SATIR & MORTEANI (1979); IV möglicher p , T -Verlauf bei der Anatexis im Winnebachsee-Gebiet; V p , T -Bedingungen der Anatexis aufgrund von Schmelzexperimenten (HOINKES, 1973).

Fig. 2: $p(\text{kb})$ vs. $T(^{\circ}\text{C})$ -Diagram. Mineral assemblage cord + alm + sill + bi \pm mu \pm kf + pl + qz indicates the p , T -conditions (dotted area) of the Ordovician anatexis in the studied area of Winnebachsee (Ötztal, Austria).

1, 5, 6, a.o. equilibrium curves: THOMPSON & ALGOR (1977); 2, 3 equilibrium curves: HOLDAWAY & LEE (1977); T_W = triple point suggested by WINKLER (1979); T_H = triple point HODAWAY (1971); stability of alm + cord (CURRIE, 1971); I, II, III p , T -trends during the Hercynian meta-

chen. Disthen erscheint als Durchkreuzungs-Zwilling in Biotit. Variszisch ist offenbar auch die Fibrolit-Sprossung im Plagioklas eines diskordanten Ganggranits, dessen Intrusionsalter 373 ± 30 Mio. Jahre beträgt (SÖLLNER & SCHMIDT, 1981).

Die im ostalpinen Altkristallin weit verbreitete variszische medium grade Metamorphose wurde begleitet oder gefolgt von der Intrusion granodioritischer-granitischer Plutone (Brixener Granit, Ivigna, Monte Sabion, Monte Croce, Cima d'Asta) deren Alter zwischen 301–273 Mio. Jahren liegen (BORSI et al., 1972, 1974; D'AMICO & MOTTANA, 1976). Ihre Intrusion fällt in den gleichen Zeitraum wie der variszische Plutonismus der Westalpen und der Böhmisches Masse (BESANG et al., 1971; KÖHLER et al., 1974; GEBAUER, 1977). Den Abschluß dieses Plutonismus bilden in den Ost- und Südalpen weitverbreitete Pegmatite, deren Alter zwischen 285–190 Mio. Jahren schwanken (GRAUERT et al., 1974; FERRARA & INNOCENTI, 1974; SATIR, 1974; MORAUF, 1981). Von H. KÖHLER durchgeführte Untersuchungen im Martell-Tal ergaben für die Muskowite in Pegmatiten 247 ± 7 Mio. Jahre und für Muskowite in kontaktbeeinflussten Nebengesteinen 259 ± 13 Mio. Jahren.

Seit längerem wird versucht, den Grad der vorausgegangenen altpläozoischen Metamorphose abzuschätzen und kaledonische von variszischen Paragenesen zu trennen (BÖGEL et al., 1979). So wird die Eklogitbildung im Ötztal für kaledonisch bzw. vorkaledonisch gehalten (MILLER, 1974; PURTSCHELLER & SASSI, 1975). Im Altkristall südlich des Tauern Fensters nehmen BELLINI & VISONA (1981) für eine ordovizische Metamorphose $700\text{--}750^\circ\text{C}$ und $7\text{--}11$ Kb (in Peliten: Staurolith + Disthen + Sillimanit) an.

Der Winnebach-Migmatit bietet nun die Möglichkeit eine ordovizische high grade Paragenese zu fixieren, die Aufschluß über den Ablauf der ordovizischen Anatexis geben kann. HAMMER (1925) beschrieb aus dem Winnebach-Migmatit pinitisierte Cordierite. Der X_{Mg} -Wert (= $\text{MgO}/(\text{MgO} + \text{FeO})$) von $0,33\text{--}0,39$ (HOINKES et al., 1972) im Migmatit dürfte die Bildung von Cordierit anstelle von Staurolith bedingt haben (HOSCHEK, 1967). Eine Al_2SiO_5 -Modifikation oder deren Pseudomorphose aus dem low-medium grade Bereich konnte neben Cordierit nicht nachgewiesen werden.

Granat tritt in inniger Verwachsung mit Cordierit auf (Abb. 3). Bei Drucken von 4 kb, wie sie HOINKES (1972, 1973) für die Anatexis annimmt und einen X_{Fe} -Wert (= $\text{FeO}/(\text{FeO} + \text{MgO})$) von $0,65\text{--}0,67$ wird bei einer Temperatur von 700°C , das entspricht der maximal zu erwartenden Temperatur für die Anatexis, das Stabilitätsfeld von Cordierit+Granat aber nicht erreicht (HIRSCHBERG & WINKLER, 1968; CURRIE, 1971).

Als Erklärung bietet sich an:

- (a) Granat stellt in der Paragenese ein Relikt dar.
- (b) Aufgrund der Koexistenz von Granat+Cordierit müssen die Drucke bei der Anatexis höher gewesen sein.

Beide Fälle setzen voraus, daß im Verlauf der Metamorphose Drucke vorgelegen haben, die größer als 4 kb waren (Abb.2). Die Temperatur konnte HOINKES (1973) durch Vergleich von natürlicher und experimentell gebildeter Schmelzmenge mit $680\text{--}685^\circ\text{C}$ festlegen. Vor Erreichen der Schmelzkurve standen die Minerale Biotit und Muskowit mit Cordierit und Granat im Gleichgewicht.

morphism in the Eastern Alps by PURTSCHELLER (1969), GREGNANIN & PICCIRILLO (1972) and SATIR & MORTEANI (1979); IV possible p,T-conditions during anatexis in the Lake Winnebach area; V p,t-conditions based on melt experiments (HOINKES, 1973).

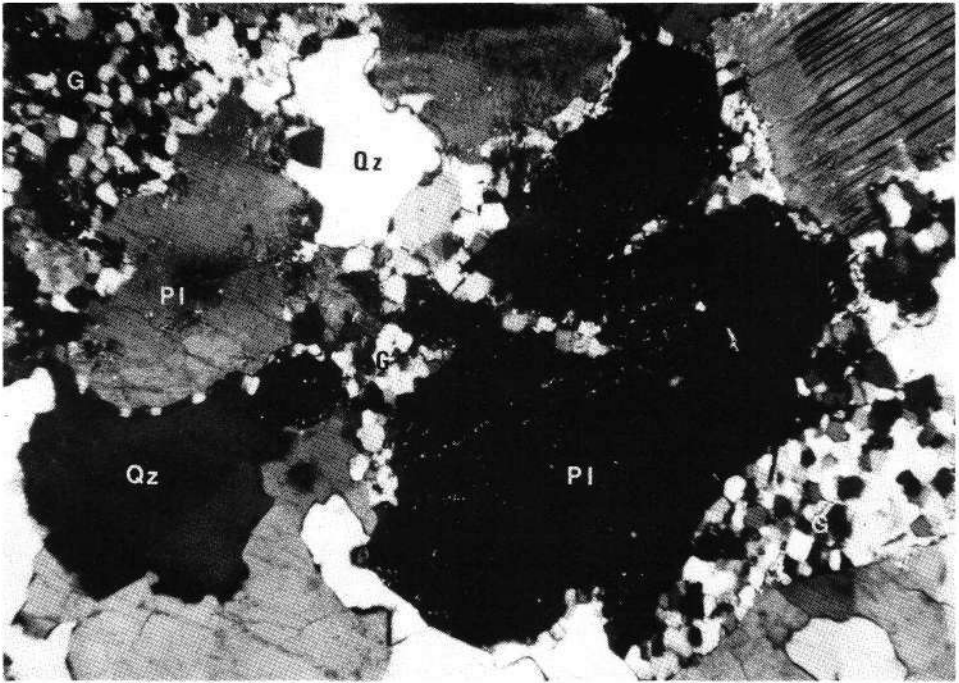
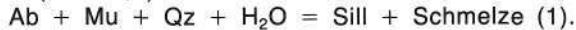


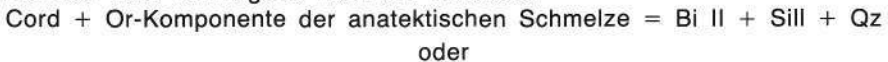
Abb. 3: An den Korngrenzen zwischen Plagioklas (hypidiomorph, teilweise mit Albit-Zwillingslamellen) und Quarz bildet sich ein Saum aus Qz-Pl-Granulat (G), der dem ehemaligen cotektischen Schmelzanteil entspricht (Nicols +).

Fig. 3: Metatectic leucosome. At the grain boundary of plagioclase (hypidiomorphic, partly with lamellar albite twins) and quartz the seam of qz-pl-groundmass (G) is identical with former cotectic melt (nicols +).

Da in den Ausgangsgesteinen nur vereinzelt Kalifeldspat auftritt, kann bei Temperaturen von 650°C mit der Bildung der Erstschnmelze nach folgender Reaktion gerechnet werden (Abb. 2,4):



Es ist zu beobachten, daß Sillimanit, heute größtenteils durch Muskowit pseudomorph ersetzt, bevorzugt in Bereichen mit viel Cordierit auftritt. Der Sillimanit könnte sich also vorwiegend nach der Reaktion



$\text{Cord} + \text{Or-Komponente der anatektischen Schmelze} + \text{Bi I} = \text{Bi II} + \text{Sill} + \text{Qz}$ bilden.

Die Reaktion der normativen Or-Komponente der Schmelze mit dem vorhandenen Cordierit wird durch die Bildung von phlogopitischem Biotit II (Z' = olivgrün) erkennbar, der sich radialstrahlig in kleinen Blättchen um Cordierit legt (Abb. 5). Biotitprossungen (Bi II) um Biotite (Bi I) des Altbestandes besitzen ihrer Farbe nach (Z' = dunkelbraun) ein höheres Fe/Mg-Verhältnis.

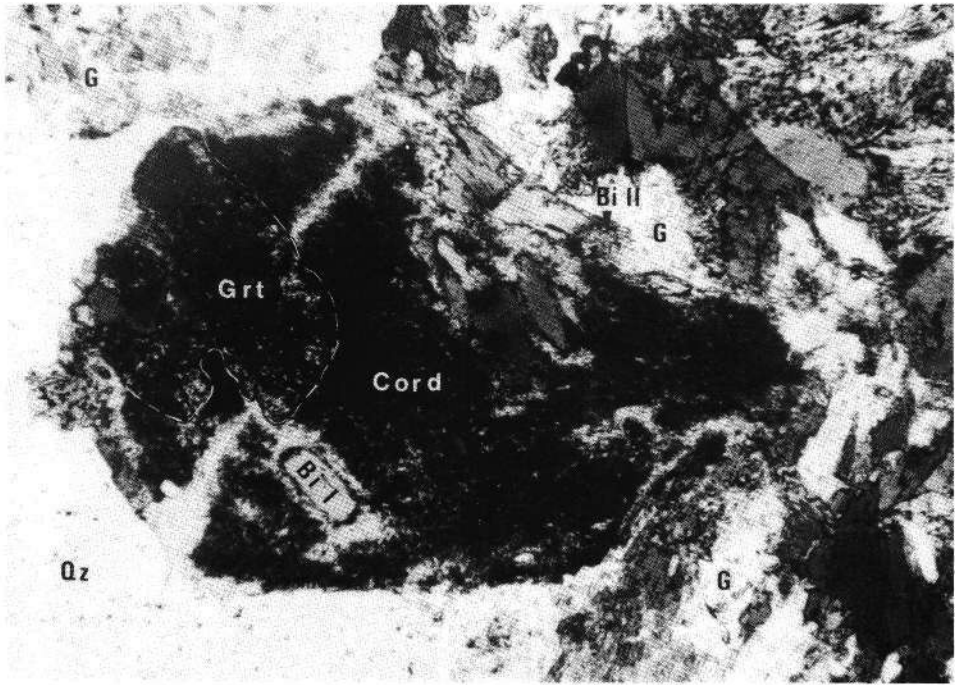


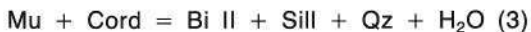
Abb. 4: Pinitisierter Cordierit mit hexagonalem Umriß ist mit Granat und Biotit I verwachsen. Sericitisierter Reaktionssaum zwischen Biotit I und Cordierit. Wo sich Cord + Bi I + G (Qz-Pl-Granulat) berühren, bilden sich Bi II und Sill (umgewandelt in Muscovit) als Leisten im Granulat (Nicols //).

Fig.: 4 Pinitized cordierite with hexagonal outline is attached to garnet and biotite I. Sericitic reaction rim between biotite I and cordierite. At the contact of cord + bi I + G (= qz-pl-groundmass) formation of bi II + sill (laths within the white mica) is visible (nicols //).

Sillimanit umgibt als Fibrolit sphärolitisch Biotit I und II. Er wächst buchtig in feinkörniges Quarz-Plagioklas-Granulat (ehemalige Schmelzanteile) oder Kalifeldspat hinein und kann diese auch weitgehend ersetzen (Abb. 6).

In Abb. 2 wurden die oberen Stabilitätsgrenzen von Cordierit neben Muskowit (Reaktion 3) neben Kalifeldspat (Reaktion 2) eingezeichnet (HOLDAWAY & LEE, 1977). Dabei ist für Cordierit ein X_{Mg} von 0,6 zugrundegelegt (ALBEE, 1965). Bei Temperaturen von 680–685°C ist für die Bildung von Biotit II und Sillimanit neben Cordierit ein Druck von mindestens 3,8 kb vorzusetzen.

Der Schollenreichtum des Winnebach-Migmatits zeigt, daß die Temperaturen nicht ausreichen, das Gestein völlig aufzuschmelzen. Die im Paläosom verbleibenden Muskowite weisen Reaktionssäume mit Cordierit und Granat auf:



Beide Reaktionen beschreiben SCHREYER & BLÜMEL (1974) aus den Biotit-Sillimanit-Gneisen des Moldanubikums, wo Granat und Cordierit eines niedrigeren Metamorphosestadiums durch ein Biotit-Fibrolit-Aggregat pseudomorph verdrängt

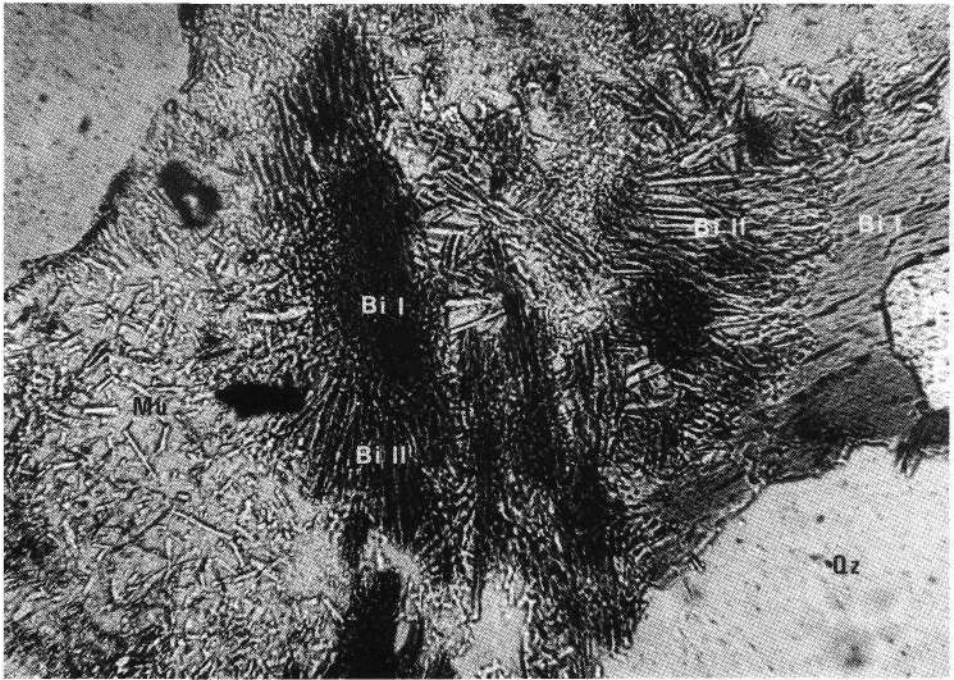
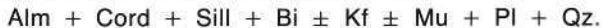


Abb. 5: Radialstrahlig wachsender Biotit II verdrängt Biotit I, eingebettet in Granulat erkennt man Muscovitleisten pseudomorph nach Sillimanit (Nicols //).

Fig. 5: Radial growth of biotite II partly replacing biotite I. In the groundmass muscovite laths are pseudomorph after sillimanite (nicols //).

werden. Experimentelle Untersuchungen im Fe-freien System K_2O - MgO - Al_2O_3 - SiO_2 - H_2O (SEIFERT, 1970) setzen für die Bildung von Sillimanit + Phlogopit + Quarz aus Cordierit und Muskowit Drucke von 5,5 kb und Temperaturen von 680°C voraus. Ein höherer Fe-Gehalt im Cordierit verschiebt die Reaktion zu niedrigeren Drucken (HOLDAWAY & LEE, (1977). Die Reaktionen (2) und (3), die sich in einem invarianten Punkt schneiden (SCHREYER & SEIFERT, 1969) sprechen in unserem Fall (Cord: $X_{Mg} = 0,6$) für die Bildung von Biotit, Sillimanit und Quarz aus Cordierit und Muskowit oder Or-Komponente der Schmelze bei 685°C und einem Mindestdruck von 4,8 kb (Reaktion: $Mu + Qz = Kf + Al_2SiO_5 + H_2O$ nach ALTHAUS et al., 1970; THOMPSON & ALGOR, 1977).

Die kritische Mineralparagenese für die Cordierit-Almandin high grade Metamorphose (WINKLER, 1976) im Winnebach-Migmatit ist:



Durch die Beteiligung der Or-Komponente an der Bildung von Sillimanit und Biotit II verarmt die Schmelze bei gleichbleibender Temperatur an normativem Or. Die Veränderung der Zusammensetzung der Schmelze im System Ab-Or-Qz zugunsten von Ab und Qz kann in der Randzone der Anatexis ein Absinken in den Subsolidusbereich bewirken.

Der Verbleib von Sillimanit in unmittelbarem Kontakt zur Schmelze könnte die Erklärung dafür sein, daß bei eintretender Abkühlung Sillimanit pseudomorph



Abb. 6: Biotit I umgeben von spärrolitischem Sillimanit (hell, pseudomorph durch Muskowit ersetzt), der mit Kalifeldspat (dunkel) aus der Schmelze kristallisiert (Nicols +).

Fig. 6: Biotite I surrounded by sillimanite (light, pseudomorph replaced by muscovite). Sillimanite and kalifeldspar (dark) are crystallising from liquid (nicols +).

durch Muskowit ersetzt wird. Bei rasch sinkenden Temperaturen kann nämlich Sillimanit und der noch verbleibende Or-Anteil der Schmelze Muskowit, Albit und Quarz bilden (Reaktion 5; Abb. 2). Daraus folgt, daß die Reaktionskurve (6) in Abb. 2 keinesfalls vom Abkühlungsweg geschnitten wurde. Im Granulat, das der Zusammensetzung der Restschmelze entspricht, ist neben Quarz und Plagioklas (An_{8-26}) daher auch fast kein Kalifeldspat zu finden.

Nur bei Ausgangsgesteinen, die schon primär Kalifeldspat enthielten, scheint dieser in Kontakt mit Sillimanit aus der Schmelze zu kristallisieren (Abb. 4). Er schließt in Form xenomorpher Blasten (\varnothing 1 mm) Biotit I und II, Sillimanit und Granulat ein. Aufgrund der dargelegten phasenpetrologischen Abschätzungen kann für die Bildung des Winnebach-Migmatits das in Abb. 2 markierte p-T-Feld angenommen werden. Infolge des nahezu isothermen Verlaufs der Reaktion (1) ist trotz höherer Drucke, als von HOINKES (1973) vorgeschlagen, mit keiner Änderung der gebildeten Schmelzmenge zu rechnen. Temperaturen von 680–685°C vorausgesetzt (HOINKES, 1973) kann mit Drucken zwischen 4,8 und 5,5 kb gerechnet werden.

Für diese Phase des ordovizischen „thermischen Ereignisses“ ergibt sich daher ein wesentlich höherer Wärmegradient (39°C/km) als sonst für die altpaläozoische Metamorphose angenommen wird.

Dank

Die Untersuchungen wurden mit Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft durchgeführt. Die Rb/Sr-Altersbestimmungen wurden am Zentrallaboratorium für Geochronologie der Universität Münster durchgeführt.

Herr Prof. F. PURTSCHHELLER, Institut für Mineralogie und Petrographie der Universität Innsbruck, unterstützte hilfreich die Geländearbeiten, wofür ihm besonderer Dank gilt.

Literatur

- ALBEE, A.L.: A petrogenetic grid for the Fe-Mg silicates of pelitic schists. — *Amer. J. Sci.*, **263**, 512–536, New Haven 1965.
- ALTHAUS E., NITSCH, K.H., KAROTKE, E. WINKLER, H.G.F.: An experimental re-examination of the upper stability limit of muskovite plus quartz. — *N. Jb. Mineral. Mh.*, **1970**, 325–336, Stuttgart 1970.
- BAUMANN, M., HELBIG, P. & SCHMIDT, K.: Die steilachsige Faltung im Bereich des Gurgler und Venter Tales (Ötztaler Alpen). — *Jb. geol. B.-A.*, **110**, 1–72, Wien 1967.
- BELLIENI, G. & VISONA, D.: Metamorphic evolution of the Austroalpine schists outcropping between the intrusive masses of Vedrette di Ries (Rieserferner) and Cima di Villa (Zinsnock) (Eastern Alps - Italy). — *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.*, **1981**, 586–602, Stuttgart 1981.
- BÖGEL, H., MORTEANI, G., SASSI, F.P. SATIR, M. & SCHMIDT, K.: The Hercynian and pre-Hercynian development of the Eastern Alps. Report on a meeting. — *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.*, **159**, 87–112, Stuttgart 1979.
- BORSI, S., D'AMICO, C. & DEL MORO, A.: Studio radiometrico delle rocce intrusive del massiccio di Cima d'Asta (Trentino). — *Mem. Soc. Geol. Ital., suppl. al Vol. 13*, 145–159, Roma 1974.
- BORSI, S., DEL MORO, A. FERRARA, G.: Eta radiometriche delle rocce intrusive del massiccio di Bressanone-Ivigna-Monte Croce (Alto Adige). — *Boll. Soc. Geol. Ital.*, **91**, 367–406, Roma 1972.
- BORSI S., DEL MORO, A., SASSI, F.P. & ZIRPOLI, G.: New petrographic and radiometric data on the Oetztal and Stubai orthogneisses (Eastern Alps). — *N. Jb. Mineral. Mh.*, **1980**, 75–87, Stuttgart 1980.
- CURRIE, K.L.: The reaction $3 \text{ cordierite} = 2 \text{ garnet} + 4 \text{ sillimanite} + 5 \text{ quartz}$ as a geological thermometer in the Opinicon Lake Region, Ontario. — *Contr. Mineral. Petrol.*, **33**, 215–226, Berlin 1971.
- D'AMICO, C. & MOTTANA, A.: Hercynian plutonism in the Alps. A report 1973–74. — *Mem. Soc. Geol. Ital., suppl. al Vol. 13*, 49–118, Roma 1971.
- DEL MORO, A., SASSI, F.P. & ZIRPOLI, G.: Preliminary results on the radiometric age of the Hercynian metamorphism in the South-Alpine basement of the Eastern Alps. — *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.*, **1980**, 707–718, Stuttgart 1980.
- DORNSIEPEN, U.F.: Rb/Sr whole rock ages within the European Hercynian. A review. — *Kristallinikum*, **14**, 33–49, Praha 1979.
- DRONG, H.J.: Das Magmatitgebiet des Winnebach-Granits (Ötztal-Tirol) als Beispiel einer prototektonischen Analyse. — *Tscherm. mineral. petrogr. Mitt.*, **7**, 1–69, Wien 1959.
- FERRARA, G., HIRT, B., JÄGER, E. & NIGGLI, E.: Rb/Sr and U/Pb age determinations on the pegmatite of I Mondei (Penninic Camughera-Monucco-Complex, Italian Alps) and some gneisses from the neighborhood. — *Eclogae geol. Helv.*, **55**, 443–450, Basel 1962.
- FERRARA, G. & INNOCENTI, F.: Radiometric age evidences of a Triassic Thermal Event in the Southern Alps. — *Geol. Rsch.*, **63**, 572–581, Stuttgart 1974.
- FUCHS, H. KRÖNER, A. SSCHMIDT, K.: Faltung und Kristallisation im Vernagt-Marzell-Gebiet der Ötztaler Alpen. — *Jb. geol. B.-A.*, **112**, 31–80, Wien 1969.
- GEBAUER, D.: Die Entwicklungsgeschichte des Moldanubikums aufgrund radiometrischer Altersbestimmungen. — *Erläuterungen z. Geol. Karte v. Bayern 1: 25.000*, Bl. 7046 Spiegelau u. Bl. 7047 Finsterau, 12–18, München 1977 (Bayer.Geol. Landesamt).
- GEBAUER, D. & GRÖNFELDER, M.: U-Pb zircon dating of alpine-type garnet-peridotites example: Val Ultimo (Eastern Alps, Northern Italy). — *U.S. Geol. Surv., Open-File Rep.*, **78–701**, 135–137, 1978

- GRAUERT, B.: Die Entwicklungsgeschichte des Silvretta-Kristallins aufgrund radiometrischer Altersbestimmungen. – Diss. Univ. München, 166 S., München 1969.
- GRAUERT, B.: Das Alter der Schlingentektonik im Silvretta-Ötztalkristallin aufgrund radiometrischer Altersbestimmungen. – Fortschr. Mineral., **59**, Beih. 1, 54–56, Stuttgart 1981.
- GRAUERT, B. SEITZ, M.G. & SOPTRAJANOVA, G.: Uranium and lead gain of detrital zircon studied by isotopic analyses and fission-track mapping. – Earth and planet. Sci. Lett., **21**, 389–399, Amsterdam 1974.
- GREGNANIN, A. & PICCIRILLO, E.M.: Litostratigrafia, tettonica e petrologia negli scisti austridici di alta e bassa pressione dell' area Passiria-Venosta (Alto Adige). – Mem. Inst. Geol. Mineral. Univ. Padova, **28**, 1–55, Padova 1972
- HAMMER, W.: Cordieritführende metamorphe Granite aus den Ötztaler Alpen. – Tscherms. mineral. petrogr. Mitt., **38**, 67–87, Wien 1925.
- HELBIG, P. & SCHMIDT, K.: Zur Tektonik und Petrogenese am W-Ende des Schneeberger Zuges (Ostalpen). – Jb. geol. B.-A., **121**, 177–217, Wien 1978
- HIRSCHBERG, A. & WINKLER, H.G.F.: Stabilitätsbeziehungen zwischen Chlorit, Cordierit und Almadin bei der Metamorphose. – Contr. Mineral. Petrol., **18**, 17–42, Berlin 1968.
- HOINKES, G.: Die Anatexis des Winnebach-Granites (Ötztaler-Alpen, Österreich) am Beispiel eines Aufschlusses. – Tscherms. mineral. petrogr. Mitt., **20**, 225–239, Wien 1973.
- HOINKES, G., PURTSCHELLER, F. & SCHANTL, J.: Zur Petrographie und Genese des Winnebachgranites (Ötztaler Alpen, Tirol). – Tscherms. mineral. petrogr. Mitt., **18**, 292–311, Wien 1972.
- HOLDAWAY, M.: Stability of andalusite and the aluminium silicate phase diagram. – Amer. J. Sci., **271**, 97–131, New Haven 1971.
- HOLDAWAY, M.J. & LEE, S.M.: Fe-Mg cordierite stability in high-grade pelitic rocks based on experimental, theoretical and natural observations. – Contr. Mineral. Petrol., **63**, 175–198, Berlin 1977.
- HOSCHEK, G.: Untersuchungen zum Stabilitätsbereich von Chloritoid und Staurolith. – Contr. Mineral. Petrol., **14**, 123–162, Berlin 1967.
- MILLER, C.: Reaction rims between olivine and plagioklase in metaperidotites, Ötztal Alps, Austria. – Contr. Mineral. Petrol., **43**, 333–342, Berlin 1974.
- MILLER, D.S., JÄGER, E. & SCHMIDT, K.: Rb/Sr-Altersbestimmungen an Biotiten der Raibler Schichten des Brenner Meozoikums und am Muscovitgranitgneis von Vent (Ötztaler Alpen). – Eclogae geol. Helv., **60/2**, 537–541, Basel 1967.
- MORAU, W.: Rb-Sr- und K-Ar-Isotopen-Alter an Pegmatiten aus Kor- und Saualpe, SE-Ostalpen, Österreich. – Tscherms. mineral. petrogr. Mitt., **28**, 113–129, Wien 1981.
- PURTSCHELLER, F.: Petrographische Untersuchungen an Alumosilikatgneisen des Ötztaler-Stubaier Altkristallins. – Tscherms. mineral. petrogr. Mitt., **13**, 35–54, Wien 1969.
- PURTSCHELLER, F. & SASSI, F.P.: Some thoughts on the pre-Alpine metamorphic history of the Austridic basement of the Eastern Alps. – Tscherms. mineral. petrogr. Mitt., **22**, 175–199, Wien 1975.
- RAUMER, F.v.: Variszikum in den Zentral- und Westalpen. – Nova Acta Leopoldina, N.F. **45** (224), 147–176, Halle 1976.
- SATIR, M.: Rb/Sr-Altersbestimmungen an Glimmern der westlichen Hohen Tauern: Interpretation und geologische Bedeutung. – Schweiz. mineral. petrogr. Mitt., **54**, 213–228, Zürich 1974.
- SATIR, M.: Die Entwicklungsgeschichte der westlichen Hohen Tauern und der südlichen Ötztalmasse aufgrund radiometrischer Altersbestimmungen. – Mem. Inst. Geol. Mineral. Univ. Padova, **30**, 1–84, Padova 1975.
- SCHMIDT, K.: Der altpaläozonische Magmatismus und seine Stellung in der tektonischen Geschichte Mittel- und Südwesteuropas. – Z. dt. geol. Ges., **128**, 121–141, Stuttgart 1977.
- SCHMIDT, K., JÄGER, E., GRÜNENFELDER, S. & GRÖGLER, N.: Rb/Sr- und U/Pb-Altersbestimmungen an Proben des Ötztalkristallins und des Schneeberger Zuges. – Eclogae geol. Helv., **60/2**, 529–536, Basel 1967.
- SCHREYER, W.: Metamorpher Übergang Saxothuringikum-Moldanubikum östlich Tirschenreuth/Opf., nachgewiesen durch phasenpetrologische Analyse. – Geol. Rdsch., **55**, 491–509, Stuttgart 1965.

- SCHREYER, W. & BLÜMEL, P.: Progressive metamorphism in the Moldanubikum of the Northern Bavarian Forest. – Fortschr. Mineral., **52**, Beih. 1, 151–165, Stuttgart 1974.
- SCHREYER, W. & SEIFERT, F.: Compatibility relations of the aluminium silicates in the system $MgO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ and $K_2O-MgO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ at high pressures. – Amer. J. Sc., **267**, 371–388, New Haven 1969.
- SEIFERT, F.: Low-temperature compatibility relations of cordierite in haploplites of the system $K_2O-MgO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$. – J. Petrol., **11**, 73–99, Oxford 1970.
- SÖLLNER, F., KÖHLER, H. & MÜLLER-SOHNUS, D.: Rb/Sr-Altersbestimmungen an Gesteinen der Münchberger Gneismasse (MM), NE-Bayern – Teil 1, Gesamtgesteinsdatierungen. – N. Jb. Mineral. Abh., **141**, 90–112, Stuttgart 1981.
- SÖLLNER, F. & SCHMIDT, K.: Rb/Sr- und U/Pb-Datierungen am Winnebach-Migmatit (Ötztaler Alpen, Österreich). – Fortschr. Mineral., **59**, Beih. 1, S. 188, Stuttgart 1981.
- SÖLLNER, F., SCHMIDT, K., BAUMANN, A. & HANSEN, B. T.: Rb/Sr- und U/Pb-Datierungen an Migmatiten und Orthogneisen aus dem Winnebachsee-Gebiet. – in Vorbereitung.
- THOMPSON, A.B. & ALGOR, J.R.: Model systems for anatexis of pelitic rocks. I. Theory of melting reactions in the system $KAlO_2-NaAlO_2-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$. – Contr. Mineral. Petrol., **63**, 247–269, Berlin 1977.
- WINKLER, H.G.F.: Petrogenesis of metamorphic rocks. – 5. Aufl., 348 S., Berlin (Springer) 1979.

Manuskript bei der Schriftleitung eingelangt am 20. September 1981.