

Metamorphose im Ötztalkristallin

von Sören Rode

Geologischer Überblick

Die Ötztaler-Stubaier Masse bildet einen Teil der ostalpinen Decken, die während der alpidischen Orogenese über die penninischen Einheiten geschoben wurden (Abb. 1). Das Gebiet umfasst eine Größe von etwa 70 x 70 km und grenzt im Osten an die Schieferhüllen der Hohen Tauern, im Norden an die Nördlichen Kalkalpen, im Westen an das Penninikum des Engadiner Fensters und im Süden an die Zone der Alten Gneise und den Schneebergerzug an (Abb. 2).

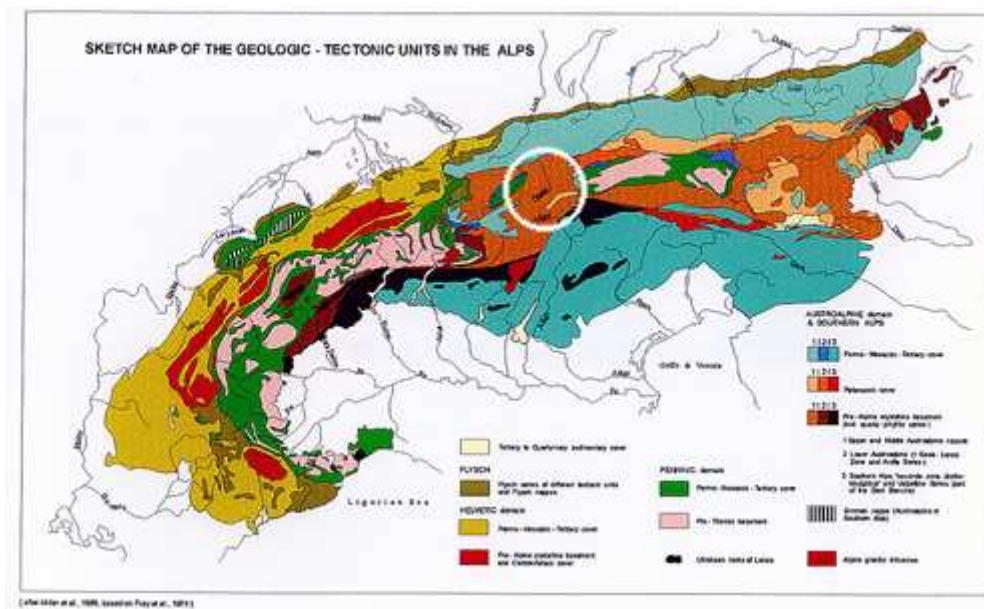


Abb.1. Geologisch-tektonische Übersichtskarte der Alpen (aus Miller et al. 1988).

Der überwiegende Teil des Gebietes besteht aus Metamorphiten der Amphibolitfazies (Altkristallin). Nach dem tektonischen Baustil kann folgende Gliederung vorgenommen werden: In nördlichen bis mittleren Teilen des Gebietes (etwa bis Sölden) herrscht ein Großfaltenbau mit ungefähr E-W-streichenden horizontalen Faltenachsen, während weiter südlich steilstehender Faltenbau im km-mm Bereich herrscht (Schlinkentektonik).

Das Penninikum des Engadiner Fensters hängt vermutlich unter dem Block der Ötztaler Masse hindurch mit dem Penninikum der Schieferhüllen der Hohen Tauern zusammen (Purtscheller, 1978). Die Ötztaler-Stubaier Masse bildet im Großen gesehen also eine Deckenmasse, deren Abgrenzung im O, N und W eindeutig gegeben ist.

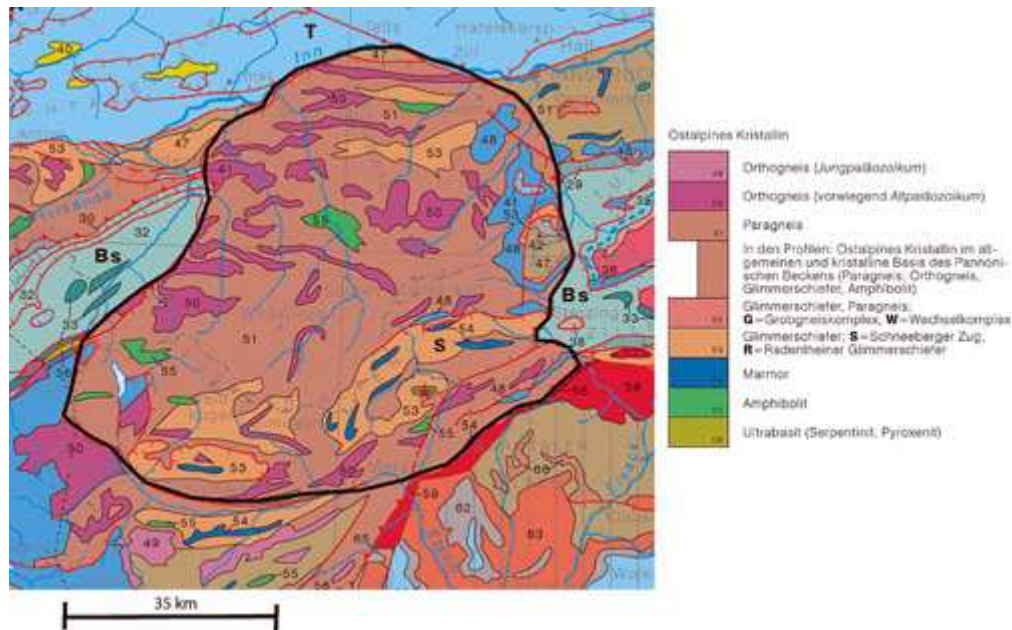


Abb.2. Geologische Übersicht des Ötztalkristallins. Im Norden grenzen die Nördlichen Kalkalpen (T-Tirolikum), im Osten und Westen das Penninikum (Bs-Bündnerschiefer-Gruppe) und im Süden Metamorphite des Südalpins an. Ausschnitt aus der geol. Übersichtskarte der Rep. Österreich; Geologische Bundesanstalt, Wien 1999.

Das Ötztalkristallin besteht hauptsächlich aus Paragneisen, sogenannten Biotitplagioklasgneisen und Gneisglimmerschiefern, die aus ehemaligen, stark inhomogenen Grauwackenserien entstanden. Mineralreiche Glimmerschiefer treten im ganzen Altkristallin auf und sind daher zur regionalen Bestimmung des Metamorphosegrades gut geeignet. Es lassen sich sehr gut Gebiete mit Staurolith-Almandin-Subfazies von Gebieten mit Sillimanit-Almandin-Subfazies abgrenzen (Purtscheller, 1978). Daneben treten Amphibolite, verschiedenste Orthogneise Eklogite, Migmatite und Peridotite auf.

Am Ostrand wird das Altkristallin konkordant vom gering metamorphen Brennermesozoikum primär sedimentär überlagert. Im Schneebergerzug sind Gesteine aufgeschlossen, die eine Synklinale im umgebenen, höher metamorphen Kristallin füllen. Es streichen in diesem Gebiet vor allem aus pelitischen Sedimenten hervorgegangene Glimmerschiefer mit Einlagerungen von Quarziten und Marmoren sowie von Amphiboliten aus.

Polymetamorphe Entwicklung des Ötztalkristallins

Die ältesten Gesteine des Ötztalkristallins sind die Paragneise, an denen detritische Zirkone mittels U/Pb Isotopenanalysen ein Bildungsalter von über 1500 Ma ergaben (Grauert, 1969). Gabbros des zentralen Ötztalkristallins wurden mit Plagioklas- Klinopyroxen-Mineralisochronen auf 521-530 Ma datiert (Abb. 3). Diese Alter datieren die magmatische Kristallisation der Eklogit-Protolite (Miller & Thöni, 1995).

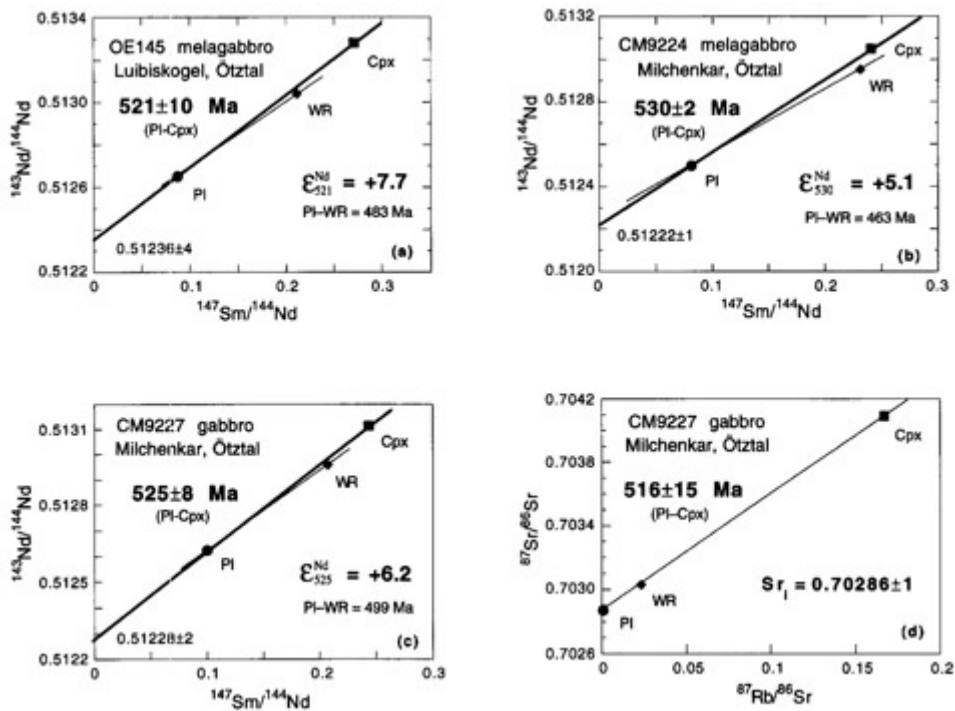


Abb.3. Die Isochronendiagramme zeigen Sm-Nd Ergebnisse für Cpx, Pl und WR für zwei Olivingabbros (a & b) und einen olivinfreien Cpx-Pl-Gabbro (c) sowie dessen Rb-Sr-Datenpunkte. Aus Miller & Thöni (1995).

Die geologische Besonderheit des Ötztalkristallins ist der Erhalt mehrerer Metamorphoseereignisse. Während die meisten Einheiten der Alpen vor allem alpidisch geprägt sind, wurde das Ötztalkristallin zum Teil deutlich verschont und liefert somit viele Erkenntnisse der präalpidischen Entwicklung.

Kaledonische Metamorphose

Zum kaledonischen Hauptereignis gehört vermutlich die Bildung des Winnebach- und Reschenmigmatits. Die P-T-Bedingungen für die Teilaufschmelzung werden von Hoinkes (1973) mit 660-685°C bei 4 kbar angegeben. Rb-Sr Messungen an Hellglimmern aus dem Winnebachmigmatit ergeben ein kaledonisches Mindestalter der Anatexis von 450±11 Ma (Chowanetz, 1990).

Variscische Metamorphose

Die dominierende metamorphe Überprägung fand im Ötztalkristallin während der variscischen Metamorphose, zwischen 390-270 Ma (Hoinkes et al. 1997) statt.

Die erste Phase der variscischen Orogenese war eine Hochdruck-Metamorphose. Die im Kambrium (530-521 Ma) intrudierenden Gabbros und Basalte vom MORB-Typ wandelten sich im zentralen Ötztalkristallins zu Eklogiten um. Direkte Beweise für die Gabbro-Eklogit-Umwandlung finden sich in der Umgebung des Milchenkar bei Sölden. Der Zeitpunkt der Subduktion wird auf 370-340 Ma datiert, während zwischen 360 und 350 Ma der Druckhöhepunkt war (Abb. 4). Die Bedingungen dieser Eklogitfazies werden mit 700-750°C und 27 kbar angenommen (Miller und Thöni 1995).

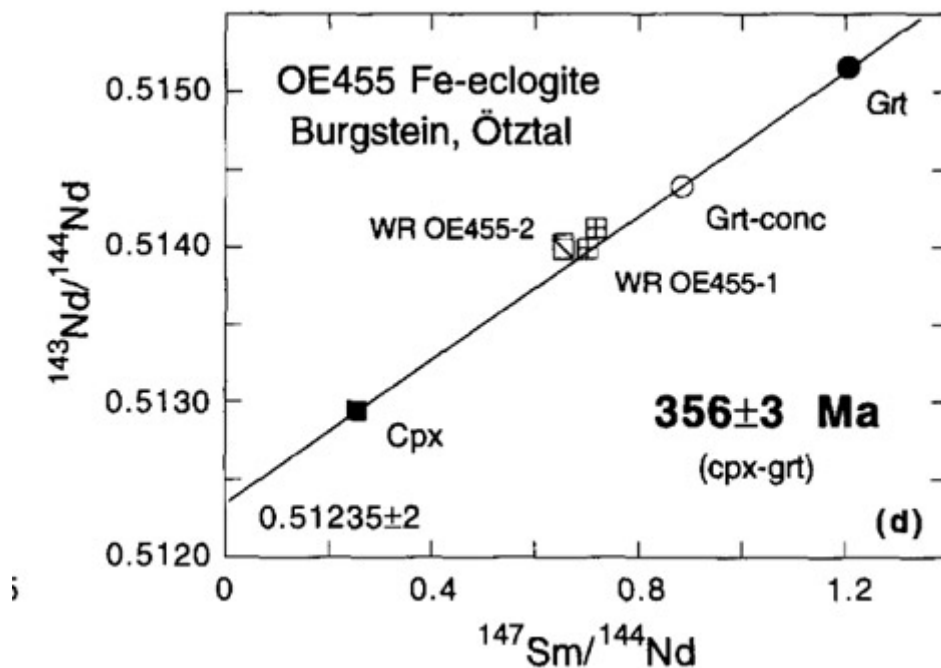


Abb.4. Sm-Nd Mineralisochrone eines Eisen-Eklogits vom Burgstein bei Sölden. Aufgrund der nahezu einschlossfreien Granate und Klinopyroxene zeigt dieses Alter mit hoher Genauigkeit den Druckhöhepunkt des Eklogitereignisses. Aus Miller & Thöni (1995).

Während einer anhaltenden Exhumierung und Druckabnahme wandelten sich die Eklogite in Amphibolite um. Auch im nördlichen Bereich des Ötztalkristallins konnten ähnliche thermobarometrische Erkenntnisse gewonnen werden. Hier kommen Eklogite als kleine Linsen innerhalb von Amphiboliten vor und zeigen Bedingungen von 620-670°C und 17 bis 23 kbar (Kapferer & Tropper, 2005). Während der Symplektitbildung sinkt der Druck auf 10-13 kbar bei ca. 650°C. Die angrenzenden Amphibolite zeigen die letzte Phase der variscischen Metamorphose mit 570-650°C und 6-8 kbar und unterstreichen somit eine isothermale Dekompression der Eklogite (Kapferer & Tropper, 2005).

In die Zeit der Eklogitbildung fällt nach Grauert (1981) auch der Beginn der "Ötztaler Schlingentektonik". Dieser ist ein zu dieser Zeit im südlichen Ötztal auftretender steilachsiger Faltenbau im km-mm-Bereich. Anschließend kam es zur Ausbildung eines "Wärmedoms" (Purtscheller 1976), der zu einer charakteristischen Mineralzonierung mit Kyanit-, Andalusit- und Sillimanitzonen führte. Während Staurolith praktisch überall auftritt, lassen sich die Vorkommen der Al_2SiO_5 -Minerale deutlich in drei verschiedene Zonen gliedern. In der äußersten Zone tritt nur Disthen auf, in der nächst inneren Sillimanit + Disthen und in der innersten Andalusit + Sillimanit + Disthen (s. Abb. 5). Die Grenze der Sillimanitzone im Norden verläuft ziemlich konkordant mit den tektonischen Strukturen, während die Südgrenze alle Strukturen, vor allem den Schlingenbau, diskordant schneidet.

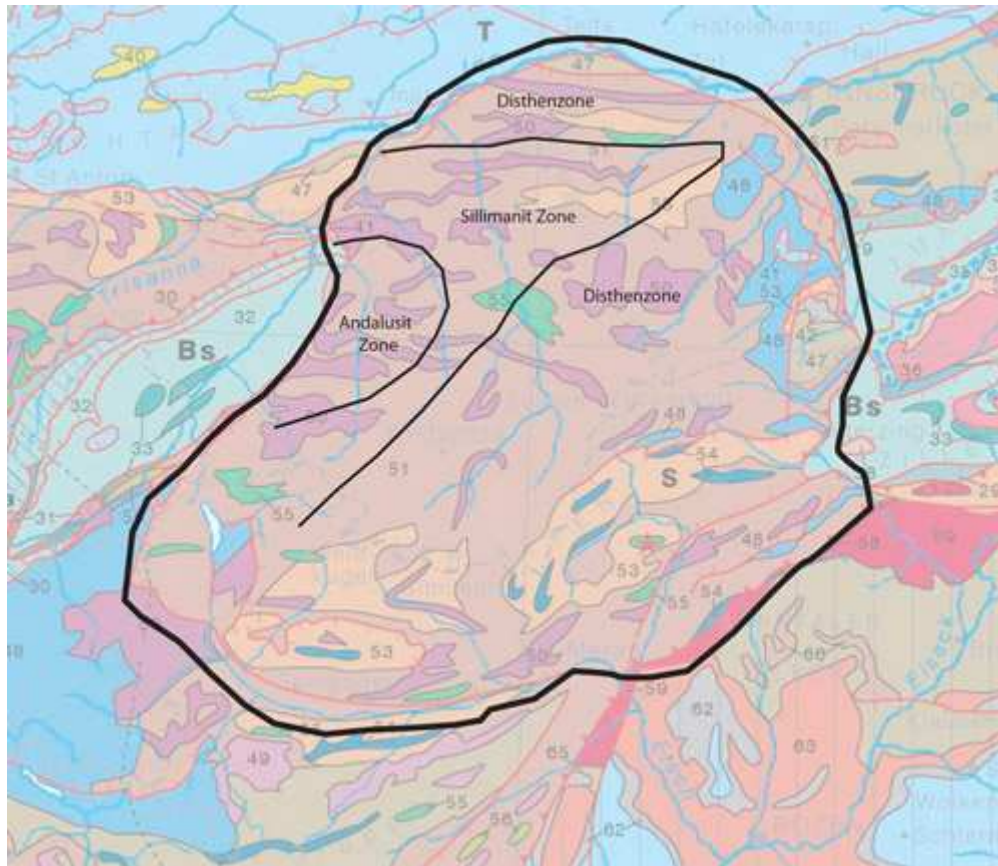


Abb.5. Ausbildung der Aluminiumsilikat-Zonen im Ötztalkristallin während der variscischen Orogenese. Ausschnitt aus der geol. Übersichtskarte der Rep. Österreich; Geologische Bundesanstalt, Wien 1999 mit den Mineralzonierungen aus Purtscheller 1976.

Veltmann (1986) ermittelte in den Metapeliten der nördlichen Kyanitzone Temperaturen zwischen 570-610°C und in der zentralen Sillimanitzone Temperaturen von 610-690°C, wobei die Drücke jeweils zwischen 4-8 kbar schwanken. Aufgrund der geringen alpidischen Überprägung im nordwestlichen Teil des Ötztalkristallins kann in der Gegend des Kaunertals die variscische Metamorphose anhand von Metapeliten untersucht werden. Sm-Nd-Messungen von Granat und dem Gesamtgestein der Granatglimmerschiefer zeigen ein Alter von 343 Ma bzw. 331Ma (Abb. 6; Schweigl 1995).

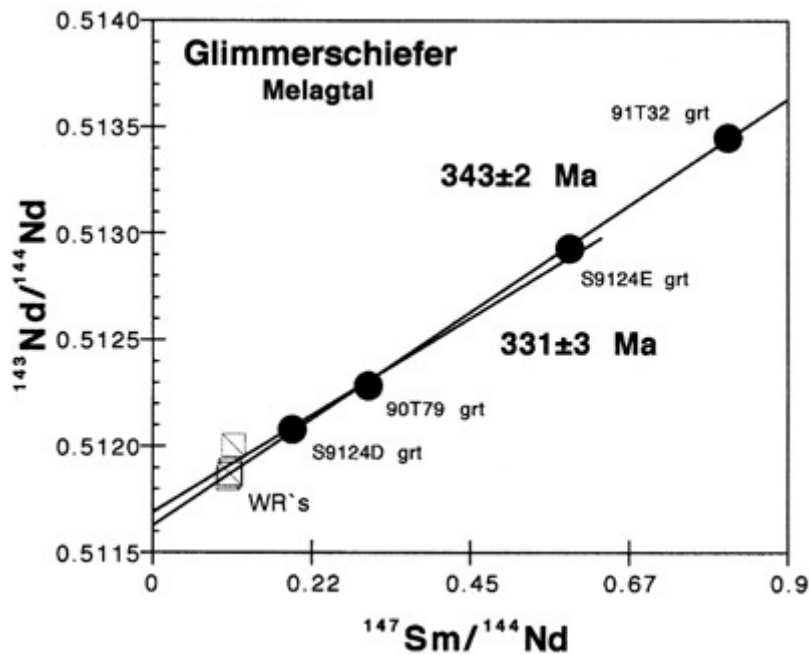


Abb.6. Sm-Nd-Isochronendiagramm vom Gesamtgestein und Granat der Granatglimmerschiefer im Melagtal, westliches Ötztalkristallin (aus Schweigl, 1995).

Dabei zeigen sehr gut erhaltene Granate ein Alter um 343 Ma und datieren möglicherweise den Temperaturhöhepunkt, der nach dem Druckhöhepunkt vorlag. Granate, die hingegen schon durch Fibrolit und Sillimanit ersetzt sind, zeigen jüngere Alter von 335 Ma und datieren möglicherweise den Granatzusammenbruch zu Sillimanit, Biotit und Quarz (Abb. 7; Tropper & Hoinkes, 1996). Die Granatränder weisen auf P-T Bedingungen von 570-640°C und 6-7 kbar hin (Bestimmung mittels Kationenaustauschthermometrie, GASP-, GRIPS- und Grail-Barometer). Die meisten Granate weisen eine chemische Zonierung auf, die mit einem konstanten progradem Granatwachstum während einer einfachen metamorphen Entwicklung übereinstimmt (Abb. 7).

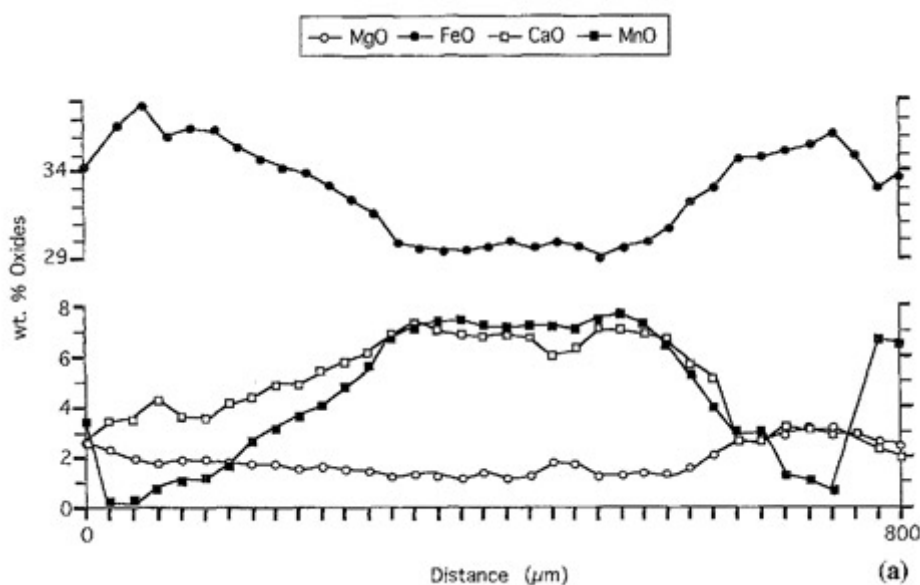


Abb.7. Kontinuierliche chemische Zonierung eines Granats (nördlich Melagtal) mit einer plateauähnlichen Elementzusammensetzung im Kern. Aus Tropper & Hoinkes, (1996).

Bei ca. 470-630°C und 2-6 kbar kam es zum Granatzusammenbruch ($\text{Grt} + \text{Ms} \Rightarrow \text{Bt} + \text{Sil} + \text{Qtz}$; Abb. 8).

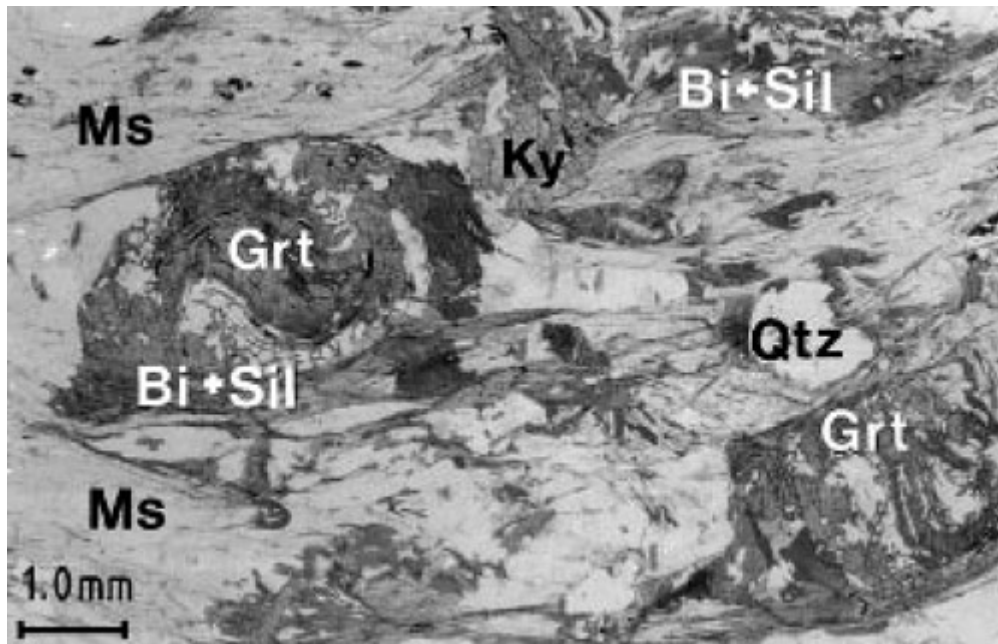


Abb.8. Granatglimmerschiefer aus dem westlichen Ötztalkristallin. Man erkennt deutlich die Umwandlung von Granat zu Biotit und Sillimanit. Aus Schweigl (1995).

Die Andalusitstehung deutet die letzte Phase des PT-Pfades an (Abb. 9; Tropper und Hoinkes 1996).

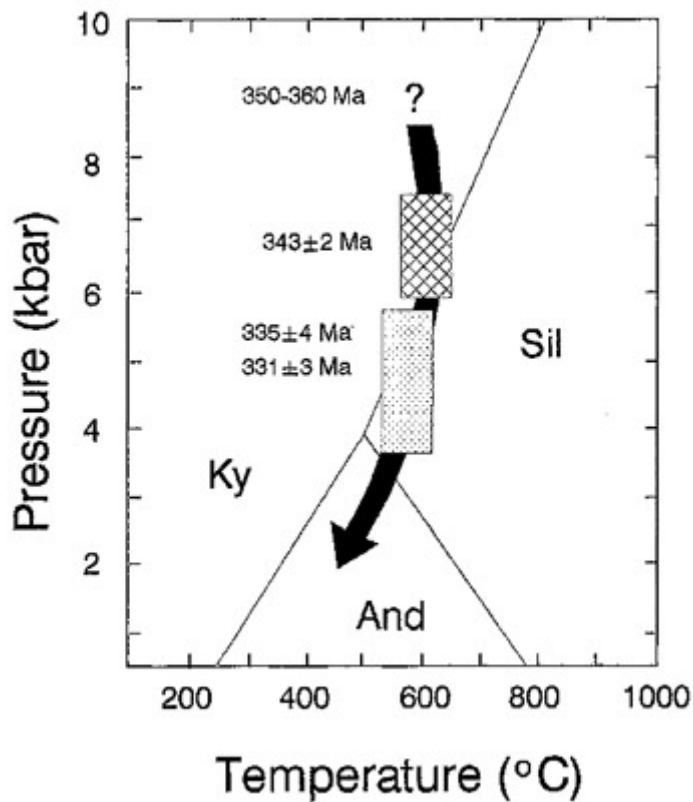


Abb.9. P-T-t Diagramm der präalpinen metamorphen Entwicklung des westlichen Ötztalkristallins. Die kreuzschraffierte Box zeigt die thermobarometrischen Bedingungen der Granatränder. Die gepunktete Box zeigt den Zeitpunkt des Granatzusammenbruchs zu Sillimanit, Biotit und Quarz. Die geochronologischen Daten für die frühvariscische Entwicklung stammen von Miller & Thöni (1995). Die Alter des variscischen Temperaturhöhepunktes und des Granatzusammenbruchs sind aus Schweigl (1993). Aus Tropper & Hoinkes (1996).

Die regionale Abkühlung dürfte um 330-320 eingesetzt und um 270 Ma Temperaturen um 300°C unterschritten haben (Schweigl 1995). Die variscische Glimmer-Abkühlalter-Linie lässt sich durch das gesamte Ötztalkristallin gut verfolgen (s. Abb. 10).

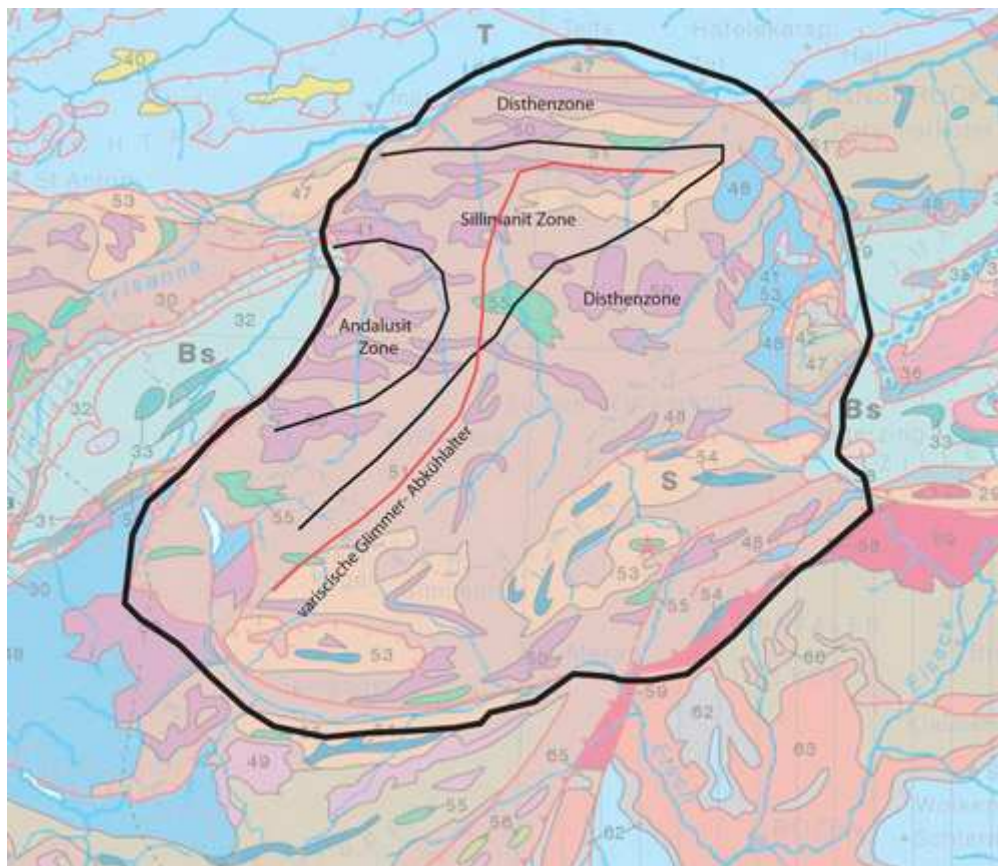


Abb.10. Ausbildung der Aluminiumsilikat-Zonen im Ötztalkristallin während der variscischen Orogenese (nach Purtscheller; 1976) und die variscische Glimmer-Abkühlalter-Linie (nach Hoinkes, 1982). Ausschnitt aus der geol. Übersichtskarte der Rep. Österreich; Geologische Bundesanstalt, Wien (1999).

Alpidische Metamorphose

Im südöstlichen Ötztalkristallin gibt es Anzeichen für eine frühalpide Eklogitbildung. Die P-T-Bedingungen für das Eklogitstadium wurden mit 11-12 kbar bei 500-550°C bestimmt. Das Rb-Sr-Alter grobkörniger Phengite beträgt 143 Ma und wird als Eklogit-Bildungsalter interpretiert (Hoinkes et al.; 1991). Darauf kam es zu einer sukzessiven Überprägung unter amphibolitfaziellen Bedingungen (600-650°C) und geringeren Drücken. Die andauernde retrograde Umwandlung wird durch die Symplektitbildung bestätigt. Das ungestörte Auftreten der Metabasite als Linsen und Lagen in einer Ortho- und Paragneisabfolge weist darauf hin,

dass die gesamte Serie eine Hochdruckentwicklung mitgemacht hat. Phengitreiche Hellglimmer aus benachbarten Orthogneisen bestätigen diese Interpretation (Hoinkes et al.; 1991).

Die Intensität der frühalpinen metamorphen Überprägung variiert innerhalb des Ötztalkristallins stark und nimmt von NW nach SE zu. Ein Anstieg des Metamorphoseeinflusses ist anhand von Mineralneubildungen festzustellen. Das Auftreten von Stilpnomelan in Metapeliten des Nordwest-Teils belegt für dieses Gebiet die niedrigsten alpidischen Metamorphosegrade (Grünschiefer-Fazies). In den mittleren Teil der Ötztaler Decke bildeten sich Chloritoide neu (Abb. 11) und im südöstlichen Teil erscheint Staurolith (Amphibolit-Fazies; Möbus, 1997). Die höchsten metamorphen Bedingungen wurden in der Texelgruppe, südlich des Schneebergerzuges erreicht. Dort kam es während der frühalpinen Metamorphose zum Granat-, Staurolith- und Kyanitwachstum (Frank et al. 1987). Die maximalen Temperaturen betragen 630°C bei deutlich geringeren Drücken. Diese Bedingungen wurden um 90 Ma erreicht (Hoinkes et al. 1991). Sowohl der Wechsel der Amphibolzusammensetzung zu aktinolitreicheren Phasen in Metaeklogiten als auch der Trend zu phengitreicheren Rändern von Hellglimmern in Orthogneisen zeigen die letzte Phase fallender Temperaturen unter 300°C um 65 Ma (Rb-Sr-Biotitalter) an (Hoinkes et al. 1991). Plagioklas wird mit abnehmender Metamorphose anorthitärmer.



Abb.11. Ausbildung der Staurolith- und Chloritoidzonen während der alpidischen Metamorphose. Weiterhin ist die Linie der alpidischen Glimmer-Abkühlalter und die Mineralzonen der variszischen Metamorphose angegeben. Nach Purtscheller; (1976) und Hoinkes (1982). Ausschnitt aus der geol. Übersichtskarte der Rep. Österreich; Geologische Bundesanstalt, Wien (1999).

Quellenangaben

Chowanetz, E. (1990): Der Winnebachmigmatit (Ötztal / Tirol). Argumente für eine altpaläozoische Anatexis. Dipl. Arbeit Univ. Wien. 78 S.

Grauert, B. (1969): Die Entwicklungsgeschichte des Silvretta-Kristallins auf Grund radiometrischer Altersbestimmungen. Diss. Univ. Bern, 166 S.; München.

Graunert, B. (1981); Das Alter der Schlingentektonik im Silvretta-Ötztalkristallin aufgrund radiometrischer Altersbestimmungen; Fort. D. Mineral. Bd. 59; 54-56.

Hoinkes, G. (1973): Die Anatexis des Winnebachgranits (Ötztaler Alpen, Österreich) am Beispiel eines Aufschlusses. TMPM, 20, 225-239. Wien.

Hoinkes, G. et al. (1991); Petrologic Constrains for Eoalpine Eclogite Facies Metamorphism in the Austroalpine Ötztal Basement; Mineral. and Petrol.; 43; 237-254.

Hoinkes, G., Thöni, M., Lichem, C., Bernhard, F., Kaindl, R., Schweigl, J., Tropper, P., Cosca, M. (1997): Metagranitoids and associated metasediments as indicators for the pre-Alpine magmatic and metamorphic evolution of the western Ötztal Basement (Kaunertal, Tirol). Schweiz Mineral Petrogr Mitt 77: 299-314

Kapferer, N. & Tropper, P. (2005): The metamorphic evolution of variscan eclogites from the northern Ötztal Complex (Tirol, Eastern Alps). Mitt. Österr. Miner. Ges.; 150

Miller, C. & Thöni, M. (1995); Origin of eclogites from the Austroalpine Ötztal basement (Tirol, Austria): geochemistry and Sm-Nd vs. Rb-Sr isotope systematic; Chemical Geology; 122; 199-225.

Möbus, G. (1997): Geologie der Alpen. Sven von Loga Verlag, Köln.

Purtscheller, F. (1978); Sammlung geologischer Führer Nr. 53; Ötztaler und Stubai Alpen; 2. Auflage; Gebr. Bornträger Stuttgart

Schweigl, J. (1995); Neue geochronologische und isotopengeologische Daten zur voralpidischen Entwicklungsgeschichte im Ötztalkristallin (Ostalpen); Jb. d. geol. Bundesanstalt Wien; Bd. 138; 131-149.

Tropper, P. & Hoinkes, G. (1996); Geothermobarometry of Al₂SiO₅-bearing metapelites in the western Austroalpine Ötztal-basement; Mineral. and Petrol.; 58; 145-170.

Veltmann, Ch. (1986): Zur Polymetamorphose pelitischer Gesteine im Ötztaler-Stubai Alt-kristallin. Diss. Univ. Innsbruck.

© 14.06.2008 Sören Rode (Freiberg) www.geoberg.de.