

# Olenit mit Borüberschuß aus einem Metapegmatit östlich der Stoffhütte, Koralpe, Steiermark, Österreich

von Andreas ERTL und Franz BRANDSTÄTTER

## Zusammenfassung

Chemismus (EMS-Analysen), Gitterkonstanten und Brechungsindizes eines Olenits mit Borüberschuß aus einem Metapegmatit östlich der Stoffhütte, Koralpe, Steiermark, Österreich, werden mitgeteilt. Der Metapegmatit ist diskordant an der Grenze vom mylonitischen Gneisquarzit zum Gneisglimmerschiefer eingelagert. Die Entstehungsbedingungen des Olenits werden anhand von Vergleichen chemischer Analysen und Gitterkonstanten Al-reicher synthetischer Turmaline, mittels Anwendung der Morphologie von Zirkon-Kristallen als Geothermometer, und unter Einbeziehung von Literaturangaben über P-T-Bedingungen der eo-Alpinen Metamorphose der Koralpe und Saualpe, diskutiert. Die P-T-Bedingungen des Metapegmatits werden mit mindestens 20 kbar/600-650°C für den Druckhöhepunkt der eo-Alpinen Metamorphose angenommen. Ergänzend werden in einem Anhang die Minerale des Metapegmatits aufgelistet und kurz beschrieben.

## Summary

Chemistry (EMP-analyses), lattice constants and refractive indices of an olenite with excess boron from a metapegmatite eastern to the Stoffhütte, Koralpe, Styria, Austria are reported. The metapegmatite is located in discordant manner at the boundary of mylonitic „Gneisquarzit“ (gneiss-quartzite) and „Gneisglimmerschiefer“ (gneiss-micaschist). The conditions of formation of olenite are discussed by comparison of chemical analyses and lattice constants for synthesized Al-rich tourmalines, by application of the morphology of zircon crystals as geothermometer, and by using literature data about the eo-Alpine metamorphism in the Koralpe and Saualpe (Eastern Alps, Austria). The metapegmatite experienced P-T-conditions for the peak pressure of the eo-Alpine metamorphism with a minimum pressure of 20 kbar and minimum temperatures of 600-650°C. In addition, a short description of the minerals of the metapegmatite is given in an appendix.

## Einleitung

Das Vorkommen eines geringmächtigen Pegmatitkörpers, östlich der Stoffhütte, Koralpe, Steiermark wird von MOSER und POSTL (in NIEDERMAYR et al., 1986), POSTL und MOSER (1987) sowie POSTL (1988) beschrieben. Neben einer genauen Beschreibung des Fundortes werden von obengenannten Autoren als Hauptgemengteile die Minerale Plagioklas, Quarz und Muskovit sowie etwa 10 weitere Mineralphasen angeführt. Als Übergemengteile treten verschiedenfarbige, teils zonar gebaute Turmaline auf. Zur Charakterisierung einzelner Mineralphasen aus diesem Pegmatit sei noch auf Artikel in NIEDERMAYR et al. (1990 und 1992) hingewiesen.

Eine Übersicht über Turmaline von österreichischen Fundstellen und deren Charakterisierung aufgrund röntgenographisch bestimmter Gitterkonstanten wird von ERTL (1995) vorgestellt. Darüber hinaus finden sich in diesem Artikel chemische Analysen dieser Turmaline (halbquantitative EDX-Analysen), sowie eine Zusammenstellung der Morphologie und genetischer

Aspekte. Unter anderem wird in diesem Artikel auch ein Olenit aus oben erwähntem Pegmatit östlich der Stoffhütte, Koralpe, Steiermark, beschrieben. In einem weiterführenden Artikel von ERTL et al. (1997) werden chemische Analysen (quantitative Mikrosonden-Analysen), Gitterkonstanten, Strukturparameter (Einkristall-Röntgendaten) und Dichte für Olenit aus dem Pegmatit östlich der Stoffhütte, Koralpe, angegeben.

Von WODARA (1996), SCHREYER (1997) und WODARA und SCHREYER (1997) werden Turmalinsynthesen im System  $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{B}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$  beschrieben, die bei P-T-Bedingungen von 20 kbar bis zu 50 kbar und  $600^\circ\text{C}$  bis  $700^\circ\text{C}$  durchgeführt wurden.

Da Bor-Mikrosondenanalysen problematisch sind, wurde versucht, die von WODARA (1996), SCHREYER (1997) und WODARA und SCHREYER (1997) beschriebenen Formeln der synthetisierten Turmaline dahingehend neu aufzustellen, daß kein Si mehr in einer (hypothetisch zugeordneten) Position mit 6er-Koordination untergebracht werden muß. Die Formel von natürlichem Olenit aus der Koralpe wird mit den veränderten Formeln der synthetisierten Turmaline verglichen und ein Zusammenhang der P-T-Bedingungen bei der Kristallisation der Turmaline wird diskutiert.

Ebenso werden die Gitterkonstanten bzw. die Zellvolumina der Elementarzellen mit den P-T-Bedingungen der synthetisierten Turmaline in Beziehung gesetzt, um so Rückschlüsse auf die Entstehungsbedingungen des Olenits aus der Koralpe ziehen zu können.

Anschließend wird versucht, über die Morphologie der in dem Turmalinpegmatit sehr häufig vorkommenden Zirkon-Kristalle, die Temperatur bei der Umkristallisation der Zirkone während der alpinen Metamorphose, nach PUPIN (1980) zu bestimmen, um auch so auf die Entstehungstemperatur der Olenit-Kristalle Rückschlüsse ziehen zu können.

## Ergebnisse

Bereits 1985 wurde von Herrn Dr. P. SCHMITZER (Graz) an einem östlich der Stoffhütte gelegenen Forstweg-Aufschluß ein Pegmatit mit Turmalinführung aufgefunden (POSTL und MOSER, 1988). Von POSTL und MOSER (1988) werden die Abmessungen des Pegmatits mit ca. 1,5 m Breite, 1 m Höhe und etwa 2 bis 3 m Tiefe angegeben. Der Metapegmatit befindet sich 1250 m ü.d.M., Länge östlich von Greenwich:  $15^\circ 02' 07''$ , Breitengrad:  $46^\circ 53' 54''$ , und ist nach der Geologischen Karte ÖK 188 (Wolfsberg, 1 : 50.000) von BECK-MANNAGETTA im Zentrum einer „Gesteinsscholle“ aus rekristallisiertem kataklastischem Gneisquarzit der „Zentralen Serie“ (nach freundlicher pers. Mitt. Von Prof. Dr. K. PETRAKAKIS, 1997 wird in diesem Zusammenhang statt „kataklastisch“ heute der Ausdruck „mylonitisch“ verwendet), der einem Gneisglimmerschiefer aufgelagert ist.

Von POSTL und MOSER (1988) wird erwähnt, daß sich der Pegmatit im Glimmerschiefer befindet. Eine kürzlich durchgeführte Gesteinsbeprobung von einem der Autoren (A. ERTL) in unmittelbarer Nähe des Pegmatit-Aufschlusses (innerhalb eines Umkreises von 10 m) erbrachte zwei verschiedene Gesteinstypen, die eindeutig einem Gneisquarzit und einem Gneisglimmerschiefer zuzuordnen sind (freundliche pers. Mitt. Hofrat Dr. P. BECK-MANNAGETTA, 1997).

Der Gneisglimmerschiefer ist grobkörnig ausgebildet und als makroskopischer Mineralbestand sind erkennbar: hauptsächlich Muskovit (Glimmergröße bis 6 mm, z.T. in Biotit umgewandelt), Plagioklas, Quarz, orangeroter Granat (Durchmesser bis 6 mm, eine EMS-Analyse ergab für den Kern: 57 Mol.-% Almandin, 30 Mol.-% Grossular, 12 Mol.-% Pyrop und 1 Mol.-% Spessartin; Für den Rand ergab die EMS-Analyse: 55 Mol.-% Almandin, 33 Mol.-% Grossular, 9 Mol.-% Pyrop und 3 Mol.-% Spessartin), akzessorisch sind noch Schörl (z.T. morphologisch gut ausgebildete Kristalle mit einem Durchmesser bis 7 mm), farbloser Apatit (Kristalle bis 1 mm), Zirkon (meistens winzigste Kristalle bis ca. 0,1 mm, sehr selten braune Kristalle bis 2 mm) und Graphit-Einlagerungen (bis 5 mm lange Schlieren) erkennbar.

Häufig sind schmale Pegmatitlagen (bis 1 cm Mächtigkeit, hauptsächlich weißer, feinkörniger Plagioklas und Quarz) konkordant eingelagert.

Der mylonitische Gneisquarzit hat teilweise eine größere Ähnlichkeit mit dem Plattengneis (Typus Stainz), nur ist die Lineation nicht so gleichmäßig streifig ausgebildet. Als makroskopischer Mineralbestand sind erkennbar: häufig Muskovit (Glimmergröße bis 2 mm, z.T. in Biotit umgewandelt), Quarz, Plagioklas, Biotit, Hydrobiotit (gelbbraune Blättchen bis 1 cm Durchmesser, Pseudomorphosen nach Biotit), orangeroter Granat (Durchmesser bis 5 mm, wahrscheinlich ähnliche Zusammensetzung wie oben angegebene EMS-Analyse), akzessorisch sind noch Schörl (morphologisch nicht sehr gut ausgebildete Kristalle mit einem Durchmesser bis 4 mm), feinkristalliner Kyanit (hellblaue, faserige Aggregate mit einem Durchmesser bis 4 mm, in teilweise aufgelösten Granaten, gemeinsam mit Quarz) und Zirkon (winzigste Kristalle bis 0.1 mm). Die makroskopische Beobachtung von Kyanit (=Disthen) deckt sich mit der Beschreibung von BECK-MANNAGETTA (1979): „Der über und in dem Plattengneis nur unregelmäßig und allein mikroskopisch nachweisbare Gehalt von Disthen nimmt (im Gneisquarzit) an Größe bedeutend zu“.

Auch im Gneisquarzit sind öfters Pegmatite (bis 3 cm Mächtigkeit) und „Feldspat-Augen“ mit hauptsächlich weißem feinkörnigen Plagioklas, Mikroklin, Quarz, „Sericit“ (feinschuppiger grünlicher Muskovit), Granat (violettrot, bis 8 mm Durchmesser, eine EDX-Analyse vom Kern ergab: 73 Mol.-% Almandin, 15 Mol.-% Spessartin, 9 % Mol.-% Pyrop und 3 Mol.-% Grossular; Für den Rand ergab die EDX-Analyse: 69 Mol.-% Almandin, 14 Mol.-% Spessartin, 10 Mol.-% Grossular und 7 Mol.-% Pyrop), selten Xenotim-(Y) (eine EDX-Analyse der 3-4 µm großen Kristalle ergab Y und P) und Apatit (hellgelbe Kristalle bis 5 mm Durchmesser) konkordant eingelagert.

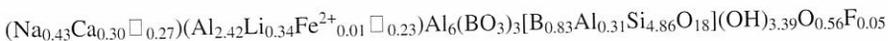
An einigen Gesteinsproben konnte der Turmalin-führende Pegmatit in direktem Kontakt zum mylonitischen Gneisquarzit sowie zum Gneisglimmerschiefer beobachtet werden. Dabei konnte festgestellt werden, daß der Metapegmatit diskordant eingelagert ist. Der eingelagerte Pegmatitgang weist einen Winkel von ca. 60° zur Schieferung des Gneisquarzites, sowie zur Schieferung des Gneisglimmerschiefers auf.

Abschließend betrachtet ist der Turmalin-führende Metapegmatit diskordant an der Grenze von mylonitischem Gneisquarzit der „Zentralen Serie“ zum Gneisglimmerschiefer eingelagert.

Im Metapegmatit ist als häufiger Bestandteil Turmalin vertreten. Der Turmalin kommt in den Farben schwarz, grün, bläulich und farblos vor (POSTL und MOSER, 1988). Von einem farblosen, morphologisch gut ausgebildeten Turmalin-Kristall (Länge: 3 cm, Durchmesser: 8 mm) der in Quarz eingewachsen ist, wurden von einem Kristallsplitter der Außenzone des Kristalls von ERTL et al. (1997) quantitative EMS-Analysen und die Struktur (Einkristall-Röntgendaten) beschrieben. Auch Bor wurde mit der Mikrosonde gemessen. Lithium wurde mit Atomabsorptionsspektroskopie (AAS) bestimmt. Die Wasserbestimmung erfolgte nach der Methode von KARL und FISCHER. Die Summe der von ERTL et al. (1997) gemessenen Elemente liegt allerdings deutlich über 100 %. Wahrscheinlich war der mit der Mikrosonde gemessene Bor-Gehalt etwas zu hoch.

Eine EMS-Analyse (Mittelwert aus 10 Analysen) von der Außenzone des oben beschriebenen farblosen Olenit-Kristalls wird in Tabelle 1 angeführt.

Berechnet auf 31 (O, OH, F) lautet die Formel für farblosen Olenit (Außenzone des Kristalls) von der Stoffhütte, Koralpe :



Da die Summe von Si und B kleiner als 6 ist, wird die Differenz mit Al aufgefüllt. Der Ersatz der tetraedrisch koordinierten Silizium-Position durch Bor für mehr als 10 % wurde von ERTL et al. (1997) durch Strukturfaktorrechnungen belegt (Einkristall-Röntgendaten). Der Mittelwert für den interatomaren Abstand <(Si,B)-O> für farblosen Olenit von der Stoffhütte, Koralpe, wird von ERTL et al. (1997) mit 1.610 Å angegeben. Werden die in Tabelle 2 angegebenen mittleren interatomaren Abstände verwendet, läßt sich die durchschnittliche Bindungslänge für <(Si,B,Al)-O> berechnen.

**Tab. 1:** Mikrosondenanalysen von farblosem Olenit (Außenzone), Stoffhütte, Koralpe, Steiermark [Analytiker: Dr. H.-J. BERNHARDT, Zentrale Elektronen-Mikrosonde, Ruhr Universität-Bochum; Standards: Jadeit (Na K $\alpha$ ), K-Glas (K K $\alpha$ ), Topas (F K $\alpha$ ), Pyrop (Mg K $\alpha$ , Al K $\alpha$ , Si K $\alpha$ ), Andradit (Ca K $\alpha$ , Fe K $\alpha$ ), Spessartin (Mn K $\alpha$ ), Rutil (Ti K $\alpha$ ) und Dravit (B K $\alpha$ ). Für Fluor und Bor wurde eine Beschleunigungsspannung von 6 kV bei 30 nA, alle anderen Elemente wurden bei 15 kV und 15 nA gemessen]. Li<sub>2</sub>O (AAS) und H<sub>2</sub>O (Methode von KARL und FISCHER) aus ERTL et al. (1997), B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> berechnet als Differenz zu 100 % (die nicht angeführte EMS-Analyse von B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ergab ca. 16.5 Gew.%).

	Gew.%
SiO <sub>2</sub>	31.11(19)
TiO <sub>2</sub>	0.02(2)
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.20(-)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	47.45(10)
FeO	0.08(2)
MnO	0.02(2)
MgO	0.01(1)
CaO	1.77(3)
Na <sub>2</sub> O	1.43(3)
K <sub>2</sub> O	0.02(1)
Li <sub>2</sub> O	0.54(-)
F	0.10(2)
H <sub>2</sub> O	3.25(-)
Summe	100.00

**Tab. 2:** Mittlere Bindungslängen von <Si-O>, <B-O> und <Al-O> mit Literaturangaben.

<Si-O>	1.620 Å	LIEBAU (1972)
<B-O>	1.476 Å	ZOBETZ (1990)
<Al-O>	1.755 Å	MOORE (1972)

Für [B<sub>0,83</sub>Al<sub>0,31</sub>Si<sub>4,86</sub>O<sub>18</sub>] beträgt der mittlere interatomare Abstand <(Si,B,Al)-O> 1.607 Å. Es ergibt sich somit nur eine Abweichung von 0.003 Å zu dem von ERTL et al. (1997) angegebenen Wert von <(Si,B)-O> mit 1.610 Å für die (über die Strukturbestimmung ermittelte) durchschnittliche Bindungslänge. Ein möglicher Grund für die Abweichung der durchschnittlichen Bindungslänge kann eine Ungenauigkeit der in Tabelle 2 verwendeten mittleren interatomaren Abstände sein (in Tabelle 2 werden jeweils die Mittelwerte der in der angeführten Literatur angegebenen Bindungslängen aufgelistet). Es zeigt sich auch eine gute Übereinstimmung mit der von ERTL et al. (1997) angegebenen Besetzungsdichte für B in der tetraedrisch koordinierten Si-Position, auf der sich im Durchschnitt ca. 0.8 Bor-Atome befinden sollen.

Die von ERTL et al. (1997) angegebenen Gitterkonstanten für farblosen Olenit von der Stoffhütte, Koralpe werden in Tabelle 3 aufgelistet.

**Tab. 3:** Gitterkonstanten von farblosem Olenit, Stoffhütte, Koralpe, Steiermark.

Olenit	
a (Å)	15.7395(2)
c (Å)	7.0656(2)

In Tabelle 4 werden die Brechungsindizes für farblosen Olenit von der Stoffhütte, Koralpe, bei einer Wellenlänge von 589.0 nm angegeben.

**Tab. 4:** Brechungsindizes von farblosem Olenit, Stoffhütte, Koralpe, Steiermark.

Olenit	
$\omega$	1.668(2)
$\epsilon$	1.644(2)

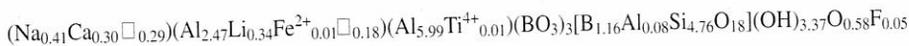
Im UV-Licht (253.7 nm) fluoreszieren nur die farblosen (nahezu Fe-freien) Olenit-Kristalle schwach gelblich.

Eine EMS-Analyse (Mittelwert aus 10 Messungen) von der Außenzone eines in Quarz eingewachsenen hellgrünen Olenit-Kristalls (Länge: 8 mm, Durchmesser: 1 mm) wird in Tabelle 5 angeführt.

**Tab. 5:** Mikrosondenanalysen von hellgrünem Olenit (Außenzone), Stoffhütte, Koralpe, Steiermark (Analytiker: Dr. H.-J. BERNHARDT).  $\text{Li}_2\text{O}$  (AAS) und  $\text{H}_2\text{O}$  (Methode von KARL und FISCHER) aus ERTL et al. (1997),  $\text{B}_2\text{O}_3$  berechnet als Differenz zu 100 % (die nicht angeführte EMS-Analyse von  $\text{B}_2\text{O}_3$  ergab ca. 17.3 Gew.%).

Gew. %	
$\text{SiO}_2$	30.62(35)
$\text{TiO}_2$	0.06(2)
$\text{B}_2\text{O}_3$	15.49(-)
$\text{Al}_2\text{O}_3$	46.61(25)
$\text{FeO}$	0.11(3)
$\text{MnO}$	0.03(2)
$\text{MgO}$	0.01(1)
$\text{CaO}$	1.81(3)
$\text{Na}_2\text{O}$	1.35(5)
$\text{K}_2\text{O}$	0.01(1)
$\text{Li}_2\text{O}$	0.54(-)
F	0.11(4)
$\text{H}_2\text{O}$	3.25(-)
Summe	100.00

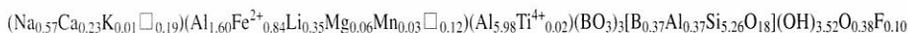
Berechnet auf 31 (O, OH, F) lautet die Formel für hellgrünen Olenit [Außenzone (AZ) des Kristalls] von der Stoffhütte, Koralpe:



Es zeigen sich viele Übereinstimmungen mit der für farblosem Olenit angegebenen Formel. Deutliche Unterschiede ergaben die Werte für  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und somit auch für  $\text{B}_2\text{O}_3$ . Die EMS-Analysen von hellgrünem Olenit ergaben um ca. 0.5 Gew.% weniger  $\text{SiO}_2$  und um ca. 0.8 Gew.% weniger  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Somit folgt daraus rechnerisch eine Erhöhung von  $\text{B}_2\text{O}_3$  um ca. 1.3 Gew.%. Obwohl von diesem Kristall keine Strukturfaktorrechnungen vorliegen, um die Besetzungsdichte für Bor zu überprüfen, zeigt sich auch bei der EMS-Analyse eine deutliche Erhöhung von  $\text{B}_2\text{O}_3$  (ca. 17.3 Gew.%, höchster gemessener Wert für  $\text{B}_2\text{O}_3$  von allen gemessenen Olenit-Kristallen). Die hellgrüne Färbung des Kristalls wird der leichten Erhöhung von  $\text{FeO}$  ( $\text{Fe}^{2+}$ ) und  $\text{TiO}_2$  ( $\text{Ti}^{4+}$ ), im Vergleich zum farblosen Olenit, zugeschrieben.

EMS-Analysen (Dr. H.-J. BERNHARDT) vom Zentrum des Kristalls zeigen um ca. 5 Gew.% weniger  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , um ca. 2 Gew.% mehr  $\text{SiO}_2$  und um ca. 5.5 Gew.% mehr  $\text{FeO}$  (bis ca. 6 Gew.%). Rechnerisch ergibt sich um ca. 3.5 Gew.% weniger  $\text{B}_2\text{O}_3$  (ca. 12 Gew.%) als in der Außenzone. Die Analysen zeigen weiters im Gegensatz zur Außenzone (AZ) des Kristalls (Tab. 5) um ca. 0.5 Gew.% weniger  $\text{CaO}$  und ca. 0.5 Gew.% mehr  $\text{Na}_2\text{O}$ . Die Zunahme von Fluor im Zentrum des

Kristalls auf 0.2 Gew.% könnte auch mit einer Zunahme von Lithium verbunden sein, da Fluor-Gehalte oft mit Lithium-Gehalten positiv korreliert sind. Die Formel für schwarzgrünen Olenit, Innenzone (Zentrum) des hellgrünen Olenit-Kristalls [Li<sub>2</sub>O: von Tabelle 5; berechnet auf 31 (O, OH, F)] lautet:



Anhand von 107 durchgeführten EMS-Analysen (Dr. H.-J. BERNHARDT) von B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> an 3 Olenit-Kristallen von der Stoffhütte, Korralpe, kann durchschnittlich ein um ca. 11% (5% bis 18%) zu hoher gemessener Wert von B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> im Vergleich zum berechneten Wert (Differenz zu 100%) festgestellt werden.

Von WODARA (1996), WODARA und SCHREYER (1997) und SCHREYER (1997) werden synthetische Al-reiche Turmaline beschrieben, die ähnlich niedrige Gitterkonstanten (im Vergleich mit Tabelle 3) haben.

SCHREYER (1997) beschreibt die Al-Turmaline, welche bei 20 kbar und 600°C synthetisiert worden sind, mit folgender Formel:



WODARA (1996) und SCHREYER (1997) veranschlagen eine hypothetische teilweise Zuordnung von Si in eine 6er-Koordination. Da bis zu diesem Zeitpunkt den Autoren kein Beweis vorliegt, daß Si in Turmalinen in eine 6er-Koordination geht und die synthetisierten Turmaline ebenfalls mit der selben Mikrosonde (Zentrale Elektronen-Mikrosonde, Ruhr Universität-Bochum) gemessen wurden, wurde die Formel dahingehend verändert, daß kein Si in der 6er-Koordination untergebracht werden muß. Da, wie oben beschrieben, der mit der Mikrosonde gemessene Wert von B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zum berechneten Wert (Differenz zu 100 %) um 5 % bis 18 % zu hoch ist, wurde der angegebene Wert von B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mit 17.03 Gew.% (von der Formel rückgerechnet) auf 16.40 Gew.% verändert. Der von SCHREYER (1997) angegebene Wert von B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mit 17.03 Gew.% ist somit um ca. 4 % höher. Theoretisch könnte der B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Gehalt noch kleiner sein, und die Differenz in der tetraedrisch koordinierten Si-Position wird mit Al aufgefüllt. H<sub>2</sub>O wurde (wie auch von SCHREYER, 1997 beschrieben) als Differenz zu 100 % berechnet (H<sub>2</sub>O: 3.77 Gew.%). Die veränderte vereinfachte Formel für synthetischen Al-Turmalin (20 kbar, 600°C) lautet somit:

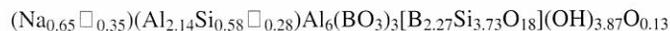


Zum Vergleich wird nochmals die vereinfachte Formel von hellgrünem Olenit von der Stoffhütte, Korralpe (Außenzone des Kristalls) angegeben:



Die Bor-Substitution im Si-Ring ist ähnlich groß wie im synthetisierten Turmalin. Von SCHREYER (1997) werden als zusätzliche Phasen bei der Turmalin-Synthese (20 kbar, 600°C) noch Jeremejewit, Dumortierit und Quarz beschrieben. Jeremejewit und Dumortierit wurden in dem Olenit-führenden Pegmatit bis jetzt noch nicht nachgewiesen. Dumortierit ist allerdings von einigen Fundstellen auf der Kor- und Saualpe beschrieben worden [Kuppergrund, Wildbachgraben, Hartnerbruch bei Schwanberg, Stullnegg-Graben, St. Leonhard; WEISSENBACH (1965) beschreibt aus Querpegmatiten, die im Schiefergneiskomplex der Saualpe eingelagert sind, daß gelegentlich meist mit Muskovit verwachsener Dumortierit neben Turmalin und Kyanit auftritt].

WODARA und SCHREYER (1997) und SCHREYER (1997) beschreiben weiters synthetische Na-Al-Turmaline, welche bei 25 kbar und 600°C synthetisiert worden sind mit folgender Formel:



Der von WODARA und SCHREYER (1997) angegebene Wert für B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> von 20.09 Gew.% wurde auf 17.5 Gew.% erniedrigt (der angegebene Wert ist somit um ca. 15 % höher), sodaß in der

Formel kein Si mehr in der 6er-Koordination untergebracht werden muß. Da  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$  in Gew.% angegeben sind (WODARA und SCHREYER, 1997), wurde nur  $\text{Al}_2\text{O}_3$  rückgerechnet. Die veränderte vereinfachte Formel für synthetischen Na-Al-Turmalin (25 kbar, 600°C) lautet somit:



### P-T-Abschätzungen

Für die Abschätzung der herrschenden Druckbedingungen während der Kristallisation der Olenite wird die graphische Darstellung in Abbildung 1 verwendet.

Abb. 1

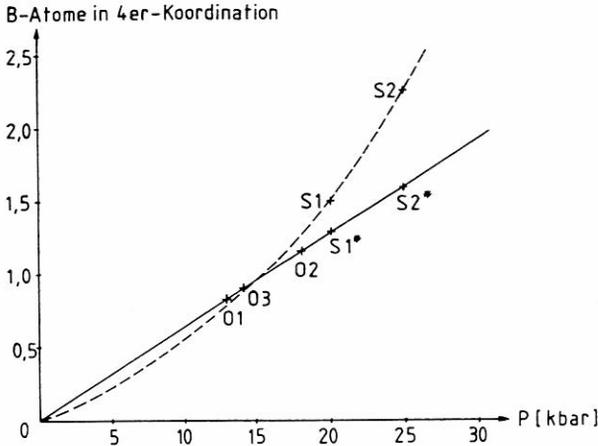


Abb. 1: Graphische Darstellung des Zusammenhanges zwischen der Bor-Substitution in der tetraedrisch koordinierten Si-Position in Abhängigkeit vom Druck für Al-reiche Turmaline.

Bez.	Turmalin	Literatur
S1	synthetisierter Al-Turmalin	SCHREYER (1997)
S2	synthetisierter Na-Al-Turmalin	WODARA und SCHREYER (1997)
S1*	wie S1, veränderte Formel	diese Arbeit
S2*	wie S2, veränderte Formel	diese Arbeit
O1	farbloser Olenit (AZ), Stoffhütte	ERTL et al. (1997), diese Arbeit
O2	hellgrüner Olenit (AZ), Stoffhütte	diese Arbeit
O3	hellblauer Olenit (AZ), Stoffhütte	ERTL (1995)

Für die ausgezogene Kurve wurden als Grundlage die in dieser Arbeit angegebenen veränderten Formeln der synthetischen Turmaline verwendet. Bei der strichlierten Kurve zeigt sich mit linear zunehmendem Druck ein exponentieller Anstieg von Bor in der 4er-Koordination. Im Gegensatz zu dieser eher fragwürdigen Interpretation zeigt die andere Kurve mit steigendem Druck einen annähernd linearen Anstieg von Bor in der 4er-Koordination bis zu einem Druck von ca. 30 kbar. Bei weiter steigendem Druck wird eine asymptotische Annäherung an eine Bor-Substitution von 3 Bor-Atomen in der tetraedrisch koordinierten Si-Position vermutet (abwechselnd ein Si- und ein B-Atom im Ring, eine Symmetrierniedrigung von 3m auf 3 ist möglich).

Für die Druckabschätzungen wird daher stets die ausgezogene Kurve herangezogen. Die folgenden Druckangaben sind immer Mindestdrucke, da in den synthetisierten Turmalinen tatsächlich noch um einige % weniger Bor eingebaut sein könnte, als in den veränderten Formeln beschrieben wird. Als Folge davon würden sich die den Oleniten zuzuordnenden Drucke in Richtung höherer Werte verschieben.

Für den untersuchten farblosen Olenit von der Stoffhütte, Koralpe lassen sich Druckbedingungen mit Mindestdrucken von 13 kbar während der Kristallisation zuordnen. Für den untersuchten hellgrünen Olenit [der Olenit von der Stoffhütte, der den höchsten gemessenen Borgehalt (ca. 17.3 Gew.% B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), sowie den höchsten berechneten Borgehalt aufweist (als Differenz zu 100% berechnet: ca. 15.5 Gew.% B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)] ergibt sich ein Mindestdruck von 18 kbar während der Kristallisation. Da am hellgrünen Olenit ein sehr ähnlicher, sogar geringfügig höherer B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Gehalt (ca. 17.3 Gew.% B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) mit der Mikrosonde gemessen wurde, als beim (bei 20 kbar, 600°C) synthetisierten Al-Turmalin (ca. 17.0 Gew.% B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) läßt sich der maximale Druck mit ca. 20 kbar während der Kristallisation angeben. Für einen hellblauen Olenit (in Muskovit eingewachsener 4 mm langer Kristall) läßt sich der Mindestdruck mit 14 kbar angeben. Es wird darauf hingewiesen, daß eine leichte Färbung der Olenit-Kristalle nicht mit den herrschenden Druckbedingungen während der Kristallisation zusammenhängen muß.

In Tabelle 6 werden die Gitterkonstanten und das Volumen der Elementarzelle von Olenit aus der Koralpe, den Gitterkonstanten und den Volumen der Elementarzellen der synthetisierten Turmaline, von Olenit aus Oleny Ridge (Halbinsel Kola, USSR) und einigen Turmalinendgliedern, gegenübergestellt.

**Tabelle 6:**

Gitterkonstanten und Volumen verschiedener Turmaline bzw. Turmalinendglieder mit Literaturangaben.

Turmalin-Bezeichnung	a (Å)	c (Å)	V (Å <sup>3</sup> )	Literatur
synth. Na-Al-Turmalin	15.636(7)	7.027(4)	1487(1)	SCHREYER (1997)
synth. Al-Turmalin	15.690(6)	7.039(5)	1500(1)	SCHREYER (1997)
Olenit, Stoffhütte	15.7395(2)	7.0656(2)	1515.86(5)	ERTL et al. (1997)
Olenit, Oleny Ridge	15.803	7.086	1531.8	SOKOLOV et al. (1986)
Elbait	15.843	7.102	1543.0	TOMISAKA (1968)
Foilit	15.967	7.126	1572.6	MACDONALD et al. (1993)
Schörl	16.095	7.136	1600.1	TOMISAKA (1968)
Dravit	15.910	7.210	1579.8	EPPRECHT (1953)
Uvit	15.981	7.207	1593.2	DUNN et al. (1977)

In Tabelle 7 werden zu den in Tabelle 6 aufgelisteten Turmalinen die vereinfachten Formeln angegeben. Für die synthetischen Turmaline werden die veränderten Formeln (mit Bor-Korrektur) angegeben.

**Tabelle 7:**

Stöchiometrische Formeln von verschiedenen Turmalinen bzw. Turmalinendgliedern.

Turmalin-Bezeichnung	Formel
synth. Na-Al-Turmalin	(Na <sub>0,7</sub> □ <sub>0,3</sub> )(Al <sub>2,7</sub> □ <sub>0,3</sub> )Al <sub>6</sub> (BO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> [B <sub>1,6</sub> Si <sub>4,4</sub> O <sub>18</sub> ](OH) <sub>3,9</sub> O <sub>0,1</sub>
synth. Al-Turmalin	□(Al <sub>2,8</sub> □ <sub>0,2</sub> )Al <sub>6</sub> (BO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> [B <sub>1,3</sub> Si <sub>4,7</sub> O <sub>18</sub> ](OH) <sub>3,8</sub> O <sub>0,2</sub>
Olenit, Stoffhütte	(Na <sub>0,4</sub> Ca <sub>0,3</sub> □ <sub>0,3</sub> )(Al <sub>2,5</sub> Li <sub>0,3</sub> □ <sub>0,2</sub> )Al <sub>6</sub> (BO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> [B <sub>1,2</sub> Si <sub>4,8</sub> O <sub>18</sub> ](OH) <sub>3,4</sub> O <sub>0,6</sub>
Olenit, Oleny Ridge	(Na <sub>0,5</sub> □ <sub>0,5</sub> )(Al <sub>2,2</sub> Li <sub>0,7</sub> Mn <sub>0,1</sub> )Al <sub>6</sub> (BO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> [Si <sub>6</sub> O <sub>18</sub> ](OH) <sub>2,8</sub> O <sub>1,2</sub>
Elbait	Na(Li <sub>1,5</sub> Al <sub>1,5</sub> )Al <sub>6</sub> (BO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> [Si <sub>6</sub> O <sub>18</sub> ](OH) <sub>3</sub> F
Foilit	□[Fe <sup>2+</sup> <sub>2</sub> (Al,Fe <sup>3+</sup> )]Al <sub>6</sub> (BO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> [Si <sub>6</sub> O <sub>18</sub> ](OH) <sub>4</sub>
Schörl	NaFe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> Al <sub>6</sub> (BO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> [Si <sub>6</sub> O <sub>18</sub> ](OH) <sub>4</sub>
Dravit	NaMg <sub>3</sub> Al <sub>6</sub> (BO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> [Si <sub>6</sub> O <sub>18</sub> ](OH) <sub>4</sub>
Uvit	CaMg <sub>3</sub> (Al <sub>3</sub> Mg)(BO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> [Si <sub>6</sub> O <sub>18</sub> ](OH) <sub>4</sub>

Da die Bor-Substitution in der tetraedrisch koordinierten Si-Position einen wichtigen Faktor für die Verkleinerung des Zellvolumens der Elementarzelle darstellt (siehe Tabelle 6 und Tabelle 7), kann durch Extrapolation der P-T-Daten der synthetisierten Turmaline (Na-Al-Turmalin: 25 kbar, 600°C; Al-Turmalin: 20 kbar, 600°C) in Relation zum Zellvolumen der Elementarzelle

auf die Druckbedingungen bei der Kristallisation des Olenits von der Stoffhütte, Koralpe geschlossen werden. Die folgende Rechnung beruht auf der Annahme, daß nur die oben erwähnte Bor-Substitution druckabhängig ist, nicht aber die Besetzung der Alkaliposition oder die Besetzung der 6-koordinierten Al-Position. Um eine möglichst genaue Druckabschätzung zu ermöglichen, werden die einzelnen Zellvolumen der Elementarzellen so umgerechnet, daß die Besetzungen der Alkaliposition und der 6-koordinierten Al-Position in etwa übereinstimmen.

Um die Alkaliposition des Al-Turmalins mit der des Na-Al-Turmalins (siehe Tabelle 7) gleichzusetzen, wird diese ebenfalls hypothetisch mit 70 % Na besetzt. Somit muß das Volumen der Elementarzelle des Al-Turmalins umgerechnet werden. Als Datengrundlage dafür werden die in Tabelle 6 angegebenen Zellvolumen von Foitit und Schörl verwendet. Dabei wird vorausgesetzt, daß die in Tabelle 6 angegebenen Gitterkonstanten von Foitit und Schörl dem tatsächlichen Endglied sehr nahe kommen. Somit ist beim Schörl die Alkaliposition zu 100 % mit Na besetzt und beim Foitit zu 0 %. Das Zellvolumen der Elementarzelle ist beim Schörl um 1.75 % größer, als beim Foitit. Daraus ergibt sich rechnerisch eine Vergrößerung des Zellvolumens um 1.22 % wenn die Alkaliposition mit 70 % Na besetzt ist. Auf den Al-Turmalin bezogen, ergibt sich für eine 70 % mit Na besetzte Alkaliposition somit ein Zellvolumen von  $1518.4 \text{ \AA}^3$ .

Als nächster Schritt werden hypothetisch beim Olenit von der Stoffhütte die 0.3 Ca-Atome in der Alkaliposition mit Na ausgetauscht. Damit ergibt sich auch hier eine 70 % mit Na besetzte Alkaliposition. Als Datengrundlage werden die in Tabelle 6 angegebenen Zellvolumen von Dravit und Uvit verwendet. Da diese Turmalin-Mischkristallreihe sehr gut untersucht ist, kann auch hier angenommen werden, daß die verwendeten Gitterkonstanten dem tatsächlichen Endglied sehr nahe kommen. Rechnerisch ergibt sich somit für das Zellvolumen von Olenit von der Stoffhütte bei einer mit 70 % Na besetzten Alkaliposition ein Zellvolumen von  $1510.7 \text{ \AA}^3$  (Verkleinerung des Zellvolumens um 0.34 %). Jetzt müßten nur noch die 0.3 Li-Atome in der 6er-Koordination hypothetisch gegen Al ersetzt werden. Da der Li-Gehalt von Li-Turmalinen zur Zeit noch zu selten genau bestimmt wurde und oftmals wechselnde Mn-, Fe- und Ca-Gehalte auftreten, konnte diese Berechnung nicht durchgeführt werden (eine Verkleinerung des Zellvolumens um 0.1-0.3 % wäre möglich).

Durch Korrelation des jeweiligen Druckes in Beziehung zum Volumen der Elementarzelle (siehe Tabelle 8) läßt sich für Olenit von der Stoffhütte ein Druck von ca. 21 kbar errechnen. Bei einer weiteren Verkleinerung des Zellvolumens (Austausch der 0.3 Li-Atome gegen 0.3 Al-Atome) würde sich der zu errechnende Druck des Olenits von der Stoffhütte noch erhöhen. Da der Fehler bei den durchgeführten Berechnungen aber relativ groß ist, läßt sich nur aussagen, daß der Druck von mindestens 20 kbar gesichert scheint.

#### **Tabelle 8:**

Stöchiometrische veränderte Formeln der synthetischen Turmaline und von Olenit, Stoffhütte, Koralpe, Steiermark.

Formel	V ( $\text{\AA}^3$ )	P (kbar)
$(\text{Na}_{0.7} \square_{0.3})(\text{Al}_{2.7} \square_{0.3})\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3[\text{B}_{1.6}\text{Si}_{4.4}\text{O}_{18}](\text{OH},\text{O})_4$	1487	25
$(\text{Na}_{0.7} \square_{0.3})(\text{Al}_{2.8} \square_{0.2})\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3[\text{B}_{1.3}\text{Si}_{4.7}\text{O}_{18}](\text{OH},\text{O})_4$	1518.4	20
$(\text{Na}_{0.7} \square_{0.3})(\text{Al}_{2.5}\text{Li}_{0.3} \square_{0.2})\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3[\text{B}_{1.2}\text{Si}_{4.8}\text{O}_{18}](\text{OH},\text{O})_4$	1510.7	21

Da die Al-reichen Turmaline bei Temperaturen von  $600^\circ\text{C}$  synthetisiert worden sind (SCHREYER, 1997), ist die in Tabelle 9 durchgeführte Korrelation nur dann relativ genau, wenn der Olenit von der Stoffhütte ebenfalls bei ca.  $600^\circ\text{C}$  kristallisiert ist. WODARA und SCHREYER (1997) beschreiben, daß die besten Ausbeuten an synthetisiertem Turmalin bei Temperaturen von  $600^\circ\text{C}$  erzielt werden.

Eine Temperaturabschätzung während des Höhepunktes der eo-Alpinen Metamorphose ermöglicht die Anwendung der Morphologie von Zirkonkristallen als Geothermometer. PUPIN (1980) gibt die wichtigsten Zirkontypen mit einem korrespondierenden geothermischen Maßstab an. Da

es bei dieser Methode um eine statistische Auswertung der Trachten von Zirkon-Kristallen geht, ist es wichtig, daß eine möglichst große Anzahl von morphologisch gut ausgebildeten Zirkon-Kristallen zur Verfügung steht, um den Fehler gering zu halten. Da in dem Turmalin-Pegmatit nahe der Stoffhütte, Koralpe, Zirkon-Kristalle relativ häufig vorkommen, läßt sich diese Methode anwenden. Die Größe der Zirkon-Kristalle variiert von kleiner als 1 mm bis 13 mm Länge. Da eine Uran-Führung des Pegmatites belegt ist (Uraninit, Uranophan), die Kerne der Zirkon-Kristalle dunkelbraun gefärbt sind (wahrscheinlich isotropisiert), und eine bräunliche Hofbildung um den Zirkon von POSTL und MOSER (1988) beschrieben wird, kann auf einen relativ hohen Uran- und/oder Hafnium-Gehalt der Zirkon-Kristalle geschlossen werden. Große Individuen weisen starke kataklastische Beanspruchung auf (Sammlung: LMJ, Graz, Mineralogie, Inv. Nr. 39.816), sind meistens sehr dunkel gefärbt und morphologisch schlecht ausgebildet. Die meisten Zirkon-Kristalle erreichen eine Länge von 2 bis 3 mm, sind morphologisch sehr gut ausgebildet und zeigen keine Anzeichen einer kataklastischen Beanspruchung. Diese Kristalle besitzen einen dunkelbraunen Kern und der Randbereich ist hellbraun (durch Umkristallisation möglicher Pb-Verlust). Nach Ansicht eines der Autoren (A. ERTL) entstand die Morphologie dieser Zirkon-Kristalle durch Umkristallisation während der eo-Alpinen Metamorphose. HEEDE (1997) beschreibt den durchschnittlichen Pb-Verlust der Zirkone (seit der Pegmatitbildung) aus den Metapegmatiten der Weinebene, Koralpe mit ca. 20 %. Da in dem Metapegmatit von der Stoffhütte Pyromorphit (MOSER und POSTL, 1986) als Pb-Sekundärmineral auftritt, aber kein primäres Pb-Erz nachgewiesen wurde, könnte das Pb aus den Zirkonen stammen.

An morphologisch gut ausgebildeten Zirkon-Kristallen konnten häufig die Flächenformen  $\{110\}$ ,  $\{101\}$  und selten schwach ausgebildet  $\{211\}$  festgestellt werden. Nach PUPIN (1980) ergibt sich bei  $\{101\} \gg \{211\}$ , bzw.  $\{101\}$  ohne Auftreten von  $\{211\}$ , und bei  $\{110\}$  ohne Auftreten von  $\{100\}$ , eine Temperatur von  $600^{\circ}\text{C}$ . Seltener sind an schwach bräunlich gefärbten Zirkon-Kristallen die Flächenformen  $\{110\}$ ,  $\{101\}$  und  $\{100\}$  ausgebildet. Nach PUPIN (1980) ergibt sich bei  $\{101\}$  ohne  $\{211\}$ , und bei  $\{110\} \gg \{100\}$  eine Temperatur von  $650^{\circ}\text{C}$ . Somit sind die Zirkon-Kristalle bei Temperaturen von  $600^{\circ}\text{C}$  bis  $650^{\circ}\text{C}$  kristallisiert.

Da der Quarz in dem die Zirkon-Kristalle eingewachsen sind, zum Teil in Form von „Würfelquarz“ vorkommt (POSTL, 1988), könnte dieser posteklogitisch gebildet worden sein (siehe auch HEEDE, 1997). Unmittelbar mit Zirkon kommt auch Olenit vor. Es ist somit wahrscheinlich, daß auch Olenit, der in Quarz und auch in Plagioklas eingewachsen vorkommt, ebenfalls bei Temperaturen von  $600^{\circ}\text{C}$  bis  $650^{\circ}\text{C}$  kristallisiert ist.

Die vom Stoffbestand her ähnlichen Metapegmatite der Weinebene, Koralpe, werden von HEEDE (1997) nach U-Pb-Untersuchungen von Zirkonen auf ein minimales Bildungsalter von  $240 \pm 1.6$ – $1.4$  Ma eingestuft. Nach HEEDE (1997) dürfte die Bildung der Metapegmatite der Sau- und Koralpe im obersten Perm bzw. in der untersten Trias (ca. 255–240 Ma) erfolgt sein. Aufgrund von vielen Übereinstimmungen in den Mineralparagenesen der Metapegmatite der Sau- und Koralpe, wie z.B. oftmaliges Auftreten von Uranmineralen (Uraninit,...), Ferrocolumbit, Schörl, Dumortierit, Beryll und Spodumen ist es möglich, daß alle Metapegmatite in der Sau- und Koralpe einem gemeinsamen „Magmakörper“ entstammen (der bis jetzt allerdings noch nicht lokalisiert ist).

MILLER und THÖNI (1997) geben den Zeitraum des Druckhöhepunktes der eo-Alpinen Metamorphose in der Koralpe mit  $100 \pm 10$  Ma an.

Zusammengefaßt können die P-T-Bedingungen des Turmalin-führenden Metapegmatits der im Gneisquarzit der „Zentralen Serie“ und im Gneisglimmerschiefer östlich der Stoffhütte, Koralpe eingelagert ist, (wahrscheinliches Bildungsalter: ca. 240 Ma) mit mindestens 20 kbar/  $600$ – $650^{\circ}\text{C}$  bei ca. 100 Ma angegeben werden.

MILLER und THÖNI (1997) geben die P-T-Bedingungen für Metabasite und für Metapelite von der Koralpe mit 18–21 kbar/  $600$ – $650^{\circ}\text{C}$  an. Für den Plattengneis (ist dem Gneisquarzit der „Zentralen Serie“ aufgelagert) geben STÜWE und POWELL (1995) die P-T-Bedingungen mit  $>18$  kbar/  $>620^{\circ}\text{C}$ . Für den nachfolgenden thermischen Höhepunkt geben STÜWE und POWELL (1995) die P-T-Bedingungen des Plattengneises mit 14–16 kbar/  $700^{\circ}\text{C}$  an. LICHEM et al. (1997) geben die P-T-Bedingungen des Gneiskomplexes der Koralpe (der Linsen von Eklogiten, Meta-gabbros, Amphiboliten, Marmoren und Pegmatiten beinhaltet) mit 13–16 kbar/  $>700^{\circ}\text{C}$  an. MILLER (1990) gibt die P-T-Bedingungen für den Höhepunkt der eklogitfaziellen Metamorphose der

Kor- und Saualpenregion mit 18 kbar/ 580-630°C an. GREGUREK et al. (1997) geben für den Höhepunkt der eo-Alpinen Metamorphose des Koralpenkristallins die P-T-Bedingungen mit >15-16 kbar/ >700°C an.

HEEDE (1997) gibt an, daß empirisch für den Höhepunkt der eklogitfaziellen Metamorphose in der Saualpe P-T-Bedingungen von 18 kbar/ 650-700°C abgeleitet werden können.

Verschiedene Beobachtungen deuten auf möglichen Coesit in manchen Eklogiten der Saualpe (BEHRMANN et al., 1990; NEUBAUER, persönliche Mitteilung, in: THÖNI und JAGOUTZ, 1992; HEEDE, 1997) hin. HEEDE (1997) gibt auf der Phototafel 1, S. A52 zu dem Photo 1/1 eine fragliche Quarz-Paramorphose nach Coesit in Granat an [überwiegender Pyrop-Gehalt (Pyrop-Gehalte bis 44 Mol.%, HEEDE, 1997)]. Von dem gleichen Eklogitkörper aus der Saualpe (Jurkikogel - Beilstein) wird von HEEDE (1997) zu dem Photo 1/2 eine fragliche Quarz-Paramorphose nach Coesit in Omphacit beschrieben. Die fragliche Paramorphose hat einen annähernd pseudo-hexagonalen Querschnitt, einen Durchmesser von ca. 550 µm, zeigt radialstrahlige Risse (infolge Volumenvergrößerung?), und zeigt eine große Ähnlichkeit zu einem Foto aus SMITH (1991), von einer partiellen Quarz-Paramorphose nach Coesit (Fundort: Grytting, Norwegen).

Für die Bildung von Coesit im Temperaturbereich von 600-700°C sind nach SCHREYER (1976) und MIRWALD und MASSONNE (1980) Mindestdrucke von ca. 27-28 kbar erforderlich. Wenn eine Quarz-Paramorphose nach Coesit von der Saualpe sicher nachgewiesen wird, hätte das zur Folge, daß Teile des Sau- und Koralpenkomplexes möglicherweise tiefer subduziert worden sind, als bisher angenommen (MILLER und THÖNI, 1997 beschreiben eine Subduktion in Tiefen bis ca. 60 km).

Bei der Subduktion des Metapegmatits und der Randgesteine, erfolgte eine Aufheizung auf 600-650°C und ein Druckanstieg auf 20 kbar. Da ein tektonisch stark zerbrochener Granat-Kristall (hoher Almandin-Gehalt) mit einem Durchmesser von 8 mm aus einem Pegmatit von dem anstehenden Gneisquarzit, nur eine sehr schwache chemische Zonierung aufweist, und nach METZGER et al. (1992) eine komplette Homogenisierung von Granaten mit einem Durchmesser bis 1 cm bei 700°C eintritt, wurde bei der Subduktion möglicherweise eine Temperatur von 700°C erreicht (Vorausgesetzt dieser Granat ist vor der eo-Alpinen Metamorphose entstanden).

THOMPSON (1990) veranschlagt, daß in klastischen Sedimenten, die über einen geringen H<sub>2</sub>O-Anteil verfügen und in Krustenniveaus verfrachtet wurden, die einen Druck von ca. 13 kbar und eine Temperatur von ca. 650°C aufweisen, die Bildung von Schmelzen einsetzt. Bei einem Druck von 5 kbar wird die Soliduskurve erneut überschritten und als resultierende Paragenese kristallisieren Muskovit, Albit und Quarz aus.

Die Turmaline aus dem Pegmatit der Stoffhütte weisen zum Teil eine starke Zonierung auf (POSTL und MOSER, 1988). Meistens sind die Schörl-Kristalle von einer 1-2 mm dicken grünen äußeren Anwachsschicht (Olenit) umgeben. Im Extremfall sind Schörl-Kristalle (Durchmesser: 8 mm) mit einer farblosen bis zu 4 mm dicken äußeren Anwachsschicht umgeben. Nur im unmittelbaren Übergang von schwarzem Schörl zu farblosem Olenit ist eine grüne Färbung des Turmalins zu erkennen. WEISSENBACH (1965) beschreibt aus dem zentralen Teil der Saualpe zonar gebaute Turmalin-Kristalle mit dunklem, rundlichen Kern, umgeben von einem helleren, zu idiomorphen Umrissen ausgewachsenem Rand. WEISSENBACH (1965) ergänzt, daß die Turmaline wahrscheinlich vollständig rekristallisiert sind. HEEDE (1997) beschreibt aus Metapegmatiten der Saualpe größere Schörl-Blasten (max. 1-2 cm) mit verbreitet schiffskielartigen Umrissen, häufig mit geringfügig auseinander gedrifteten Klasten. Nach HEEDE (1988) weisen die Turmaline bis zu fünf Anwachssäume auf, von denen lediglich der stark von den internen pleochroitischen Farben abweichende externe Saum auf metamorphes Wachstum hindeutet. Undeutlich ausgeformte Grenzflächen der Mineralzonen deuten nach HEEDE (1997) darauf hin, daß zumindest teilweise Metapegmatite Metamorphosetemperaturen von 560°C ausgesetzt waren, bei denen nach VOLL (1969) druckunabhängig die Selbstdiffusion in Turmalinen einsetzen soll. Die gleiche Beobachtung läßt sich auch bei den Turmalinen aus dem Pegmatit östlich der

Stoffhütte, Koralpe nachvollziehen, was wiederum die oben beschriebenen Temperaturen von 600-650°C während der eo-Alpinen Metamorphose bestätigt.

HEEDE (1997) beschreibt von Metapegmatiten aus der Zone der injizierten Glimmerschiefer, aber auch von anderen Einheiten des Saualpenkristallins eine (überwiegend partielle) Rekristallisation von Mikroclin und Plagioklas [VON GOSEN (1982) beschreibt Plagioklase mit An-Gehalten von 14-24 %]. Nach VOLL (1980) ist für diese Rekristallisation eine Schwellentemperatur von 500°C notwendig. ALKER (1959) gibt für Plagioklas von einem (Amazonit-) Turmalin-Pegmatit von der Pack, Koralpe, Steiermark einen An-Gehalt von 15 % an.

POSTL und MOSER (1988) beschreiben milchigweißen Plagioklas mit deutlicher Zwillinglamellierung und farblosen Plagioklas (mit Mondsteineffekt) aus dem Pegmatit östlich der Stoffhütte. Der weiße Plagioklas (Albit mit 9 % An) erwies sich aufgrund der Übereinstimmung der Pulverdifferaktometer-Röntgenaufnahme mit der ICDD-Datei 19-1184 als geordneter Albit (Tief-Albit). Nach ORVILLE (1974) liegt bei gemeinsamen Vorkommen von geordnetem Albit und ungeordnetem Oligoklas („Peristerit-Lücke“) mit einem An-Gehalt von 13 % die Entstehungstemperatur unter  $580 \pm 70^\circ\text{C}$  (bei 20 kbar).

WEISSENBACH (1965) beschreibt Plagioklase aus Porphyroblasten in Disthenflasergneisozonen von der Saualpe, von denen die Einzelindividuen der Rekristallisate im Vergleich zu den unbeschädigten oder verbogenen Relikt Körnern einen um etwa 5 % niedrigeren An-Gehalt aufweisen. Scheinbar wurde im Turmalin-Pegmatit von der Stoffhütte, während der eo-Alpinen Metamorphose aus dem Plagioklas Ca mobilisiert und in den folgenden Mineralphasen eingebaut: Olenit, Fersmit, Uranophan und Apatit.

Der Ca-Gehalt der Olenit-Kristalle nimmt vom Kern zur Außenzone der Kristalle um ca. 30 % zu.

Fersmit (POSTL und MOSER, 1987) ist wahrscheinlich aus primär vorhandenem Ferrocolumbit [tritt in den Pegmatiten der Weinebene relativ häufig gemeinsam mit Turmalin auf (TAUCHER et al., 1994)] durch Ca-Einbau und Umkristallisation entstanden. Uranophan (POSTL und MOSER, 1987) längs von Rissen und randlich bei Uraninit-Körnern, ist anscheinend durch Ca in Reaktion mit Uraninit, Quarz und H<sub>2</sub>O hydrothermal entstanden.

## Minerale des Metapegmatits

### Albit

Von MOSER und POSTL (in NIEDERMAYR et al., 1986) wird weißer Plagioklas aus dem Pegmatit beschrieben. Wie bereits oben erwähnt, ist der Albit ein Tief-Albit (geordneter Albit). Eine quantitative EDX-Analyse (siehe auch POSTL, 1988) des weißen Plagioklas zeigt einen An-Gehalt von 9 %. Unter 10 % An-Gehalt wird Plagioklas dem Albit zugeordnet.

### Oligoklas

POSTL (1988) gibt dann noch farblosen Plagioklas mit Mondsteineffekt an. Eine quantitative EDX-Analyse des farblosen Plagioklas ergab einen An-Gehalt von 13 %. Somit ist der farblose Plagioklas dem Oligoklas zuzuordnen. Der farblose Plagioklas (Oligoklas) fluoresziert im UV-Licht (253,7 nm) schwach rötlich.

### Quarz

Von POSTL (1988) wird mit Feldspat innig verwachsener, grau gefärbter Quarz beschrieben, der mengenmäßig etwas hinter dem Feldspat zurücktritt. Unter anderem werden in diesem Artikel auch typische, mehrere cm große „Würfelquarze“ beschrieben. Hohlräume im Pegmatit mit Quarz-Kristallen sind nicht beobachtet worden.

## Muskovit

Von MOSER und POSTL (in NIEDERMAYR et al., 1986) wird Muskovit beschrieben. Muskovit kommt in z.T. großen bräunlichen bis bräunlichgrünen Tafeln (bis ca. 10 cm Durchmesser) vor. Sehr häufig kommt auch völlig farbloser Muskovit in Form von feinschuppigen Aggregaten (Serizit), aber auch in Glimmerplatten mit ca. 6 cm Durchmesser und 1.5 cm Dicke vor. Morphologisch gut ausgebildete farblose Muskovit-Kristalle mit pseudohexagonalem Umriß (in Plagioklas eingewachsen) erreichen einen Durchmesser bis 10 mm. Unmittelbar mit dem farblosen Muskovit kommt Olenit vor (z.T. sind die Olenit-Kristalle in farblosen Muskovit eingewachsen). In bräunlichem Muskovit ist manchmal Schörl eingewachsen, aber kein Olenit. Muskovit bildet sich nach RÖSLER (1991) in Pegmatiten hauptsächlich aus den früher auskristallisierten Kalifeldspäten.

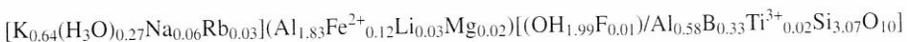
EMS-Analysen von bräunlichem Muskovit (M-1) und von farblosem Muskovit (M-2) werden in Tabelle 9 angeführt (Mittelwerte von 3 Analysen). Zusätzlich werden von Boromuskovit (B) aus einem Turmalinpegmatit mit Quarz, Albit, Mikroklin, Schörl, Elbait, Lepidolith, U-hältigen Mikrolith, Topas und Stibiocolumbit-Stibiotantalit vom Ramona district, San Diego County, Kalifornien quantitative Analysen in Tabelle 9 angegeben.

**Tabelle 9:**

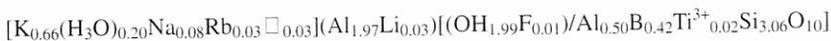
Mikrosondenanalysen von bräunlichem Muskovit (M-1) und farblosem Muskovit (M-2) von der Stoffhütte, Koralpe, Steiermark [Analytiker: F. BRANDSTÄTTER, ARL-SEMQ Mikrosonde, 15 kV, 25 nA, Standards: Jadeit (Al Ka, Na Ka), Orthoklas (K Ka), Olivin (Mg K), Almandin (Fe Ka), Augit (Ca Ka, Si Ka), Tephroit (Mn Ka), Kaersutit (Ti Ka) und Chromit (Cr Ka)]. Die Fluorbestimmung erfolgte mittels ionensensitiver Elektrode. Rb<sub>2</sub>O und Li<sub>2</sub>O sind Mittelwerte der von TAUCHER et al. (1994) angegebenen chemischen Teilanalysen (FAES) von zwei Muskoviten aus den Pegmatiten der Weinebene, Koralpe. H<sub>2</sub>O und B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> wurde stöchiometrisch, als Differenz zu 100 % berechnet (n.b.: nicht bestimmt). Quantitative Analysen von Boromuskovit (B) aus FOORD et al. (1991).

	M-1	M-2	B
	Gew.-%	Gew.-%	Gew.-%
SiO <sub>2</sub>	47.07	47.64	48.10
TiO <sub>2</sub>	0.46	0.34	< 0.02
B <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	2.95	3.83	7.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31.47	32.70	28.10
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	< 0.02	< 0.02	n.b.
CaO	< 0.02	< 0.02	0.10
MgO	0.19	< 0.02	0.15
MnO	< 0.02	< 0.02	0.08
FeO	2.27	< 0.02	0.09
Na <sub>2</sub> O	0.44	0.65	< 0.02
K <sub>2</sub> O	7.75	8.00	11.00
Rb <sub>2</sub> O	0.62	0.62	0.52
Li <sub>2</sub> O	0.12	0.12	0.05
F	0.05	0.05	0.76
H <sub>2</sub> O	6.61	6.05	4.55
Summe	100.00 %	100.00 %	100.55 %

Berechnet auf 12.27 (O, OH, F) lautet die Formel für bräunlichen Muskovit (M-1):



Berechnet auf 12.20 (O, OH, F) lautet die Formel für farblosen Muskovit (M-2):



In Tabelle 10 werden die Gitterkonstanten von farblosem Muskovit (M-2), Stoffhütte, Korralpe, von Boromuskovit (B), San Diego County, Kalifornien und von Muskovit (M-D), ICDD-Datei 6-263 (PDF) gegenübergestellt.

**Tabelle 10:**

Gitterkonstanten von farblosem Muskovit (M-2), Stoffhütte, Korralpe, Steiermark, von Boromuskovit (B), San Diego County, Kalifornien, und von Muskovit (M-D) der ICDD-Datei 6-263.

	M-2	B	M-D
a [Å]	5.1510(8)	5.075(1)	5.190
b [Å]	8.945(1)	8.794(4)	9.030
c [Å]	20.000(2)	19.815(25)	20.050
$\beta$ [°]	95.61(1)	95.59(3)	95.77

Obwohl Bor nicht analysiert wurde, deuten viele Umstände (Gitterkonstanten liegen zwischen Muskovit und Boromuskovit, 3-4 Gew.-% Differenz zu 100 %, ähnliches Aussehen zu Boromuskovit, ähnliche Paragenese) auf einen  $B_2O_3$ -Gehalt hin. Eine detaillierte Untersuchung ist in Vorbereitung. Da  $Al > B$  (in der 4-kooordinierten Si-Position) und die Gitterkonstanten näher beim Muskovit (M-D) als beim Boromuskovit (B) liegen, werden die Glimmer M-1 und M-2 zu B-reichem Muskovit gestellt. Somit handelt es sich beim bräunlichen Muskovit um einen B-reichen, Fe-hältigen „Hydromuskovit“ und beim farblosen Muskovit um einen B-reichen, Fe-freien „Hydromuskovit“. Sowohl der bräunliche, als auch der farblose Muskovit stellen somit ein Mischglied zwischen Muskovit und Boromuskovit dar. Die Bildung von „Hydromuskovit“ (teilweiser Ersatz von  $K^+$  durch  $H_3O^+$ ) wird von RÖSLER (1991) durch gleichzeitiges  $K^+$ - und  $H_3O^+$ - Angebot im hydrothermalen Bereich beschrieben. Diese Beschreibung stimmt mit der hydrothermalen Bildung von Boromuskovit (FOORD et al., 1991) überein.

MORAU (1980, 1981) stellt fest, daß Rb-Sr- und K-Ar-Untersuchungen von Glimmern der Kor- und Saulpe (Koriden- und Muridendecke) meistens frühalpidische Daten ergeben, und gezielt nach präalpidischen Relikten in pegmatitischen Muskoviten gesucht werden muß. Rb-Sr-Untersuchungen von MORAU (1981) von primär pegmatitischen Muskoviten erbrachten Alter von  $240 \pm 10$  Ma bis  $258 \pm 16$  Ma. Rb-Sr-Untersuchungen von HEEDE (1997) von primär pegmatitischen Plagioklas- und Muskovitpräparaten erbrachten präalpidische Daten von  $245,6 \pm 2,5$  Ma bis  $250,9 \pm 2,5$  Ma. Ob es sich bei dem farblosen und bräunlich gefärbten Muskovit um primär pegmatitische Muskovite handelt, ist aufgrund der möglicherweise hydrothermalen Bildung eher anzuzweifeln. Dennoch wäre es denkbar, daß primär pegmatitische Bor-reiche Muskovite erst nach dem eklogitfaziellem Stadium der eo-Alpinen Metamorphose vielleicht hydrothermal zu „Hydromuskovit“ umgewandelt wurden.

#### Schörl

POSTL und MOSER (1988) beschreiben schwarz gefärbte Turmalin-Kristalle, die eine Länge bis 10 cm und einen Durchmesser bis 6 cm erreichen. In diesem Artikel wird weiters beschrieben, daß die Turmalin-Kristalle überwiegend in Quarz, seltener in Muskovit eingewachsen sind und einen starken Zerbrechungsgrad aufweisen. Quantitative EDX-Analysen von Schörl aus dem Pegmatit (S1-P, S2-P) und zum Vergleich von Schörl aus dem angrenzenden Gneisglimmerschiefer (S-G) werden in Tabelle 10 angegeben (Mittelwert von 3 Analysen).

Tab. 10: Quantitative EDX-Analysen von Schörl aus dem Pegmatit (S1-P, S2-P) und von Schörl aus dem Gneisglimmerschiefer (S-G), Stoffhütte, Korralpe, Steiermark (Analytiker: F. BRANDSTÄTTER).  $Li_2O$  aus Tabelle 5, F siehe schwarzgrüner Olenit (Innenzone),  $B_2O_3$  und  $H_2O$  stöchiometrisch berechnet, als Differenz zu 100 % (n.b.: nicht bestimmt).

	S1-P	S2-P	S-G
SiO <sub>2</sub>	34.7	33.6	35.3
TiO <sub>2</sub>	0.6	1.0	1.5
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.4	10.2	10.2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33.0	32.8	29.8
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	< 0.2	< 0.2	< 0.2
FeO	14.3	16.4	12.4
MnO	< 0.2	< 0.2	< 0.2
MgO	< 0.2	< 0.2	4.3
CaO	0.9	0.7	1.0
Na <sub>2</sub> O	2.0	1.2	2.0
K <sub>2</sub> O	< 0.2	< 0.2	< 0.2
Li <sub>2</sub> O	0.5	0.5	n.b.
F	0.2	0.2	0.2
H <sub>2</sub> O	3.5	3.3	3.4
Summe	100.0	100.0	100.0

Berechnet auf 31 (O, OH, F) lauten die Formeln (Fe-Gehalt wurde vollständig als Fe<sup>2+</sup> gerechnet):

Schörl (S1-P): (Na<sub>0,7</sub>Ca<sub>0,2</sub>□<sub>0,1</sub>)(Fe<sup>2+</sup><sub>2,0</sub>Al<sub>0,6</sub>Li<sub>0,3</sub>□<sub>0,1</sub>)(Al<sub>5,9</sub>Ti<sup>4+</sup><sub>0,1</sub>)(BO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>[Al<sub>0,1</sub>Si<sub>5,9</sub>O<sub>12</sub>](OH)<sub>3,9</sub>F<sub>0,1</sub>

Schörl (S2-P): (Na<sub>0,4</sub>Ca<sub>0,1</sub>□<sub>0,5</sub>)(Fe<sup>2+</sup><sub>2,3</sub>Al<sub>0,4</sub>Li<sub>0,3</sub>)(Al<sub>5,9</sub>Ti<sup>4+</sup><sub>0,1</sub>)(BO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>[Al<sub>0,3</sub>Si<sub>5,7</sub>O<sub>12</sub>](OH)<sub>3,8</sub>O<sub>0,1</sub>F<sub>0,1</sub>

Schörl (S-G): (Na<sub>0,7</sub>Ca<sub>0,2</sub>□<sub>0,1</sub>)(Fe<sup>2+</sup><sub>1,8</sub>Mg<sub>1,1</sub>Al<sub>0,1</sub>)(Al<sub>5,8</sub>Ti<sup>4+</sup><sub>0,2</sub>)(BO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>[Si<sub>6</sub>O<sub>18</sub>](OH)<sub>3,8</sub>O<sub>0,1</sub>F<sub>0,1</sub>

Die Anreicherung von Schörl im Gneisglimmerschiefer in unmittelbarer Nähe des Pegmatits läßt auf eine Turmalinisierung des Gneisglimmerschiefers durch die Turmalin-Führung des Pegmatites schließen. Auch die Bedingungen während der Kristallisation scheinen aufgrund der Übereinstimmung der Morphologie (beobachtete Flächenformen: {10.0}, {11.0}, wobei {10.0} >> {11.0}, schiffskielähnlicher Umriß) ähnlich gewesen zu sein. Die Schörl-Kristalle aus dem Gneisglimmerschiefer (Länge bis 2 cm, Durchmesser bis 8 mm) sind morphologisch z.T. gut ausgebildet und in bräunlichen Muskovit-Blättchen eingewachsen. Es zeigt sich beim Schörl (S-G) ein hoher Dravit-Gehalt im Unterschied zum Schörl aus dem Pegmatit. Der untersuchte Schörl-Kristall (S1-P) aus dem Pegmatit hat einen Durchmesser von 8 mm, eine Länge von 2 cm, und ist von einer bis 4 mm dicken Schicht aus farblosem Olenit umwachsen. Der Schörl-Kristall S2-P, ebenfalls aus dem Pegmatit, hat einen Durchmesser von ca. 4 cm, eine Länge von ca. 10 cm, und ist von einer 1 mm dicken grünen Olenit-Schicht umwachsen.

## Olenit

Von MOSER und POSTL (in NIEDERMAYR et al. 1986) werden farblose, bläuliche und olivdunkelgrüne Turmaline beschrieben. POSTL und MOSER (1987) erwähnen dann noch gelbe und blaßgrüne Turmaline.

ERTL (1995) gibt für olivgrüne, farblose, blaßblaue Turmalin-Kristalle die Gitterkonstanten an und ordnet die grünen Turmalin-Kristalle einem Olenit (Erstfund für Österreich) zu. Die farblosen und blaßblauen Turmalin-Kristalle werden in diesem Artikel wegen der niedrigen Gitterkonstanten vorläufig einem nicht näher bestimmten „Al-Turmalin“ zugeordnet. In einem weiterführenden Artikel von ERTL et al. (1997) werden chemische Analysen (quantitative Mikrosonden-Analysen), Strukturparameter (Einkristall-Röntgendaten), Gitterkonstanten und Dichte für Olenit aus dem Pegmatit östlich der Stoffhütte, Koralpe, angegeben. Somit sind alle Turmalinkristalle aus dem Pegmatit, die keine schwarze Färbung aufweisen, dem Olenit zuzuordnen. ERTL (1995) beschreibt farblose, in Quarz eingewachsene Turmalin-Kristalle mit einer Länge bis 3 cm und einem Durchmesser bis 8 mm. POSTL und MOSER (1987) beschreiben blaßbläuliche, in Plagioklas eingewachsene Turmalin-Kristalle mit einer Länge bis 3 mm. Am häufigsten treten grün gefärbte Olenit-

Kristalle auf (Abb. 69 in POSTL, 1993). Meistens ist ein bis 2 mm dicker grüner Anwachssaum um Schörl-Kristalle zu beobachten (MOSER und POSTL, in NIEDERMAYR et al., 1986), unter anderem auch zwischen den auseinandergedrifteten Klusten. Viele Schörl-Kristalle zeigen auch partielle Aufschmelzungen. Während der Alpinen Metamorphose wurde unter höheren P-T-Bedingungen neben anderen Fluiden auch Bor (aus dem borhältigen Muskovit, Schörl und möglicherweise aus primär vorhandenem Elbait) mobilisiert, welches dann in Reaktion mit Plagioklas den Olenit gebildet hat. Schörl-Kristalle haben wegen des hohen Fe-Gehaltes einen relativ niedrigen Schmelzpunkt. Das Fe aus den Schörl-Kristallen ist nur zu einem geringen Teil ( $\text{FeO}$ : 0.1-6 Gew.%) in den Olenit-Kristallen eingebaut worden (grün, blau:  $\text{Fe}^{2+}$ , nur untergeordnet  $\text{Fe}^{3+}$ ). Da im Pegmatit selber keine eigenständigen Fe-reichen Mineralbildungen vorliegen, dürfte die Mobilisation von Bor aus dem Schörl nur geringfügig gewesen sein. Bor könnte auch aus Bor-reichem Muskovit mobilisiert worden sein. Es ist auch nicht auszuschließen, daß primär vorhandener Elbait unter höheren P-T-Bedingungen (unter Verlust von Li) zu Olenit umkristallisiert ist. Da der Mn-Gehalt der Schörl-Kristalle relativ niedrig ist (MnO bis 0.2 Gew.%) konnte sich in den Olenit-Kristallen zu wenig Mn einbauen (MnO bis 0.05 Gew.%) um eine rosa Färbung (nur bei ausschließlichem Gehalt an Mn; DE CAMARGO und ISOTANI, 1988) hervorzurufen. Deshalb sind Olenit-Kristalle mit fehlendem Fe-Einbau farblos. Olenit-Kristalle konnten nur im Pegmatit, aber nicht in den umgebenden Randgesteinen festgestellt werden. Ein wichtiger Grund für das Fehlen von Olenit in den Pegmatitrandgesteinen könnte der MgO-Gehalt der Schörl-Kristalle von ca. 4 Gew.% sein. Eine Mischungsreihe Schörl - Elbait - Olenit tritt nur dann auf, wenn der MgO-Gehalt sehr gering (unter 0.6 Gew.%) ist. Der Metapegmatit nahe der Stoffhütte gehört weltweit zu den besten Fundorten für Olenit.

#### Zirkon

MOSER und POSTL (in NIEDERMAYR et al., 1986) beschreiben unter anderem Zirkon-Kristalle aus dem Pegmatit. Die prismatischen Kristalle werden einige mm lang, sind flächenarm, hell- bis dunkelbraun gefärbt und weisen einen geringen Hafniumgehalt auf (POSTL und MOSER, 1988). Nähere Beschreibung der Zirkon-Kristalle siehe diesen Artikel unter P-T-Abschätzungen.

#### Fersmit

Als weiterer Erstfund für Österreich erwiesen sich idiomorph entwickelte, dunkelbraun bis schwarz gefärbte Kristalle von Fersmit (POSTL und MOSER, 1987). Der größte aufgefundene Kristall wird von WALITZI und WALTER (1991) mit 8 mm Durchmesser angegeben (Abb. 1 und 2 in WALITZI und WALTER, 1991; Abb. 2 in POSTL und MOSER, 1987; Abb. 69 in POSTL, 1993). Über die Morphologie von Fersmit-Kristallen aus diesem Pegmatit berichten WALITZI und WALTER (1991). Diese Fundstelle gehört weltweit zu den besten dieses seltenen Calcium-Niobats.

#### Mikrolith

POSTL und MOSER (1988) beschreiben tetraederähnliche Kristalle eines Minerals der Pyrochlor-Mikrolith-Gruppe. Anhand der in diesem Artikel angeführten EMS-Analyse und der beschriebenen Morphologie werden die mm-großen Kristalle einem U-hältigen Mikrolith zugeordnet. Altersbestimmungen an U-hältigem Mikrolith aus den ähnlichen Metapegmatiten von der Weinebene, Koralpe ergaben 80-100 Ma (NIEDERMAYR et al., 1990). Mikrolith ist wahrscheinlich syngenetisch mit dem Schörl entstanden, scheint aber während der Alpinen Metamorphose rekrystallisiert zu sein. Minerale der Pyrochlor-Mikrolith-Gruppe wurden aus folgenden Pegmatiten der Koralpe beschrieben: Weinebene, Koralpe (U-hältiger Mikrolith, POSTL et al. in NIEDERMAYR et al., 1990), „Am Weg zur Hühnerstütze“, Koralpe (Pyrochlor, POSTL, 1978), W. Bodenhütte, Koralpe (Pyrochlor?, WEISSENSTEINER, 1979).

#### Uraninit

Von POSTL und MOSER (1987) konnte in einigen Fällen Uraninit als primäres Uranmineral nachgewiesen werden. Einzelne mattgraue, im frischen Bruch dunkelbraun gefärbte Uraninitkörner zeigen andeutungsweise quadratischen Querschnitt (POSTL und MOSER, 1988).

## Uranophan

Als sekundäres Uranmineral wird Uranophan beschrieben (POSTL und MOSER, 1987). Längs von Rissen und randlich von Uraninit hat sich feinkristalliner Uranophan gebildet (POSTL und MOSER, 1988).

## Opal

Als weiteres sekundäres Uranmineral wird noch U-hältiger Opal beschrieben (POSTL und MOSER, 1988). Der U-hältiger Opal (im UV-Licht grün fluoreszierend) tritt vor allem auf bzw. zwischen Muskovittafeln auf (POSTL und MOSER, 1988).

## Pyromorphit

Als Sekundärbildung kommen pulvrige gelbe Beläge von Pyromorphit vor (MOSER und POSTL in NIEDERMAYR et al., 1986; POSTL und MOSER, 1988).

## Coronadit

Als brauner dünner Überzug auf Muskovit (braune Körnchen von 1-2 mm Durchmesser) konnte Coronadit mittels quantitativer EDX-Analyse nachgewiesen werden. Coronadit dürfte als Sekundärbildung aus zersetztem (primär vorhandenem?) Lithiophilin in Reaktion mit Pb entstanden sein. Mit Coronadit verwachsen konnte Carbonat-Hydroxylapatit oder Carbonat-Fluorapatit (EDX-Analyse: Ca, P und C) und Monazit-(Ce) (EDX-Analyse: Ce und P) identifiziert werden.

## Ged. Wismut

Ein Korn aus ged. Wismut in der Nähe eines Zirkon-Kristalles wird von POSTL in NIEDERMAYR et al. (1990) beschrieben.

## Bismutit

Ein dünner Überzug von Bismutit auf dem Korn aus ged. Wismut wird von POSTL in NIEDERMAYR et al. (1990) beschrieben.

## Apatit

Ein blaßgelblich gefärbter, 10 mm großer Kristall mit annähernd sechsseitigem Querschnitt (in Quarz und Muskovit eingewachsen) wird von LEIKAUF und POSTL in NIEDERMAYR et al. (1992) als Apatit beschrieben. Aufgrund der niedrigen Fluor-Gehalte der Turmaline und Glimmer in diesem Pegmatit, und der Zuordnung der idiomorph entwickelten Apatit-Kristalle der ähnlichen Pegmatite von der Weinebene, Koralpe zu Hydroxylapatit (TAUCHER et al., 1994), werden die Apatit-Kristalle aus dem Pegmatit der Stoffhütte vorläufig zu Hydroxylapatit gestellt. Carbonat-Hydroxylapatit oder Carbonat-Fluorapatit tritt verwachsen mit Coronadit auf (siehe Coronadit).

## Beryll

Ein bläulichgrauer Kristall aus dem Pegmatit wurde als Beryll beschrieben (POSTL in NIEDERMAYR et al., 1990).

## Rutil

Eine feinkörnige Einlagerung von Rutil in Quarz wird von POSTL und MOSER (1987) beschrieben.

## Monazit-(Ce)

Monazit-(Ce) tritt nur mikroskopisch in inniger Verwachsung mit Coronadit auf (siehe Coronadit).

## Dank

Für die Durchführung zahlreicher EMS-Analysen sei Herrn Dr. H.-J. BERNHARDT (Ruhr Universität-Bochum) aufrichtig gedankt. Herzlich gedankt sei auch Herrn A. WAGNER für die Herstellung von An- und Dünnschliffpräparaten und Herrn Ing. W. ZIRBS für die Fluor-Analyse des Muskovits. Besonderen Dank den Herrn Univ. Prof. Dr. K. PETRAKAKIS, Univ. Prof. Dr. M. THÖNI, Univ. Prof. Dr. W. SCHREYER, Univ. Prof. Dr. J. ZEMANN, Hofrat Dr. P. BECK-MANNAGETTA, Mag. D. GREGUREK, Dr. W. POSTL, Dr. B. MOSER, Dr. H.-U. HEEDE, Univ.-Prof. Dr. K. STÜWE, Univ. Doz. Dr. J. G. RAITH für zahlreiche Diskussionen, Anregungen und Literaturunterlagen.

Die Autoren danken sehr herzlich Herrn Dr. med. P. SCHMITZER (Graz) und Herrn Dr. W. POSTL (Landesmuseum Joanneum, Graz) für die Bereitstellung von Probenmaterial.

## Literatur

- ALKER, A. (1959): Ein Amazonitpegmatit bei Pack/Stmk. - Min. Mitt. Bl. Joanneum 1/1959, 1-6, Graz.
- BECK-MANNAGETTA, P. (1979): Über den geologischen Aufbau der Koralpe. - Die Eisenblüte, Sonderbd., 1/79, 6-10, Graz.
- BEHRMANN, J., BROSIŃSKY, D. und KNECHT, S. (1990): Coesit in den Eklogiten der Saualpe? - Tektonik, Strukturgeologie, Kristallingeologie III, 14-15.
- DE CAMARGO, M.B. und ISOTANI, S. (1988): Optical absorption spectroscopy of natural and irradiated tourmaline. - Amer. Mineral., 73, 172-180.
- DUNN, P.J., APPLEMAN, D., NELEN, J.A. und NORBERG, J. (1977): Uvite, a new (old) common member of the tourmaline group and its implications for collectors. - Mineral. Record, 8, 100-108.
- EPPRECHT, W. (1953): Die Gitterkonstanten der Turmaline. - Schweiz. Min. Petr. Mitt., 33, 481-505.
- ERTL, A. (1995): Elbait, Olenit, Dravit-Buergerit-Mischkristalle, Dravit, Uvit und ein neuer Al-Turmalin(?) von österreichischen Fundstellen. - Mitt. Österr. Min. Ges. 140, 55-72.
- ERTL, A., PERTLIK, F. und BERNHARDT, H.-J. (1997): Investigations on olenite with excess boron from the Koralpe, Styria, Austria. - Österr. Akad. Wiss., Math.-naturw. Kl., Anzeiger, 134, 3-10.
- FOORD, E.E., MARTIN, R.F., FITZPATRICK, J.J., TAGGART, J.E., Jr. und CROCK, J.G. (1991): Boromuscovite, a new member of the mica group, from the Little Three mine pegmatite, Ramona district, San Diego County, California. - Amer. Mineral., 76, 1998-2002.
- GOSEN, V. von (1982): Geologie und Tektonik am Nordostrand der Gurktaler Decke (Steiermark/Kärnten-Österreich). - Mitt. Geol. Paläont. Inst. Univ. Hamburg, 53, 33-149, Hamburg.
- GREGUREK, D., ABART, R. und HOINKES, G. (1997): Contrasting Eoalpine P-T evolutions in the southern Koralpe, Eastern Alps. - Miner. Petrol., 60, 61-80.
- HEEDE, H.-U. (1988): Geologische Kartierung und petrographische Untersuchungen am Nordrand des Friesacher Halbfensters (Nördlich von St. Salvator, Kärnten/Steiermark-Österreich). - Geol. Dipl.-Arb. Fachber. Geowiss. Univ. Hamburg, 120 S., Hamburg.
- HEEDE, H.-U. (1997): Isotopengeologische Untersuchungen an Gesteinen des ostalpinen Saualpenkristallins, Kärnten - Österreich. - Münster. Forsch. Geol. Paläont., 81, 168 S., Münster.
- LICHEM, Ch., HOINKES, G. und GREGUREK, D. (1997): Polymetamorphism of the Austroalpine Koralpe basement. - Europ. Union Geosci., 9, Abstr. Suppl., 1, 54/4B28.
- LIEBAU, F. (1972): Silicon. 14-A. Crystal Chemistry. Handbook of Geochemistry. Vol. II/1. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York (K.-H. Wedepohl, ed.).
- METZGER, K., ESSENE, E.J. und HALLIDAY, A.N. (1992): Closure temperatures of the Sm-Nd system in metamorphic garnets. - Earth Planet. Sci. Lett., 113, 397-409, Amsterdam.
- MILLER, Ch. (1990): Petrology of the type locality eclogites from the Koralpe and Saualpe (Eastern Alps), Austria. - Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt., 70, 287-300.
- MILLER, Ch. und THÖNI, M. (1997): Eo-Alpine eclogitisation of Permian MORB-type gabbros in the Koralpe (Eastern Alps, Austria): new geochronological, geochemical and petrological data. - Chem. Geol. (Isotope Geosci. Sect.), 137, 283-310.
- MIRWALD, P.W. und MASSONNE, H.J. (1980): The low-high quartz and quartz-coesite transition to 40 kbar between 600°C and 1600°C and some reconnaissance data on the effect of NaAlO<sub>2</sub> component on the low quartz-coesite transition. - J. Geophys. Res., 85, B12, 6983-6990, Washington.
- MACDONALD, D.J., HAWTHORNE, F.C. und GRICE, J.D. (1993): Foitite, □[Fe<sup>2+</sup><sub>2</sub>(Al,Fe<sup>3+</sup>)Al<sub>6</sub>Si<sub>6</sub>O<sub>18</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>(OH)<sub>4</sub>, a new alkali-deficient tourmaline: Description and crystal structure. - Amer. Mineral., 78, 1292-1303.
- MOORE, P. B. (1972): Aluminum. 13-A. Crystal Chemistry. Handbook of Geochemistry. Vol. II/2. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York (K.-H. Wedepohl, ed.).
- NIEDERMAYR, G., MOSER, B., POSTL, W. und WALTER, F. (1986): Neue Mineralfunde aus Österreich XXXV.

- Carinthia II, 176./96., 521-547.
- NIEDERMAYR, G., BRANDSTÄTTER, F., KANDUTSCH, G., KIRCHNER, E., MOSER, B. und POSTL, W. (1990): Neue Mineralfunde aus Österreich XXXIX. - Carinthia II, 180./100., 245-288.
- NIEDERMAYR, G., BRANDSTÄTTER, F., LEIKAUF, B., MOSER, B., POSTL, W. und TAUCHER, J. (1992): Neue Mineralfunde aus Österreich XL. - Carinthia II, 182./102., 113-158.
- ORVILLE, P.M. (1974): The « peristerite gap » as an equilibrium between ordered albite and disordered plagioclase solid solution. - Bull. Soc. fr. Minéral. Cristallogr., 97, 386-392.
- POSTL, W. (1978): Mineralogische Notizen aus der Steiermark. - Mitt.-Bl. Abt. Miner. Landesmus. Joanneum, 46, 5-22.
- POSTL, W. (1988): Neue Mineralfunde in der Steiermark. - Mitt. Österr. Miner. Ges. 133, 7-11.
- POSTL, W. (1993): Mineralschätze der Steiermark. - Begleitheft zur Ausstellung im Schloß Eggenberg, 94 S., Graz.
- POSTL, W. und MOSER, B. (1987): Ein Turmalinpegmatit östlich der Stoffhütte, Koralpe, Steiermark. - Mitt. Abt. Miner. Landesmuseum Joanneum, 55, 13-20.
- PUPIN, J.P. (1980): Zircon and granite petrology. - Contr. Miner. Petrol., 73., 207-220.
- RÖSLER, H.J. (1991): Lehrbuch der Mineralogie. 5. unveränd. Aufl., 845 S., Dt. Verl. für Grundstoffind., Leipzig.
- SCHREYER, W. (1976): Hochdruckforschung in der modernen Gesteinskunde. - Rheinisch-Westfälische Akad. Wiss. Vorträge, 259, Opladen.
- SCHREYER, W. (1997): Experimental studies on tourmaline end-members. - „Tourmaline 1997“ International Symposium on Tourmaline, Abstracts, Moravian Museum, Brno, 89-90.
- SMITH, D.C. (1991): L'histoire de la coésite dans les roches métamorphiques. - L'Age du Silicium, 26-30, Muséum d'histoire naturelle, Jardin des plantes, Paris.
- SOKOLOV, P.B., GORSKAYA, M.G., GORDIENKO, V.V., PETROVA, M.G., KRETSEK, YU.L. und FRANK-KAMENTSKII, V.A. (1986): Olenite  $\text{Na}_{1-x}\text{Al}_3\text{Al}_6\text{B}_3\text{Si}_6\text{O}_{27}(\text{O},\text{OH})_4$  - A new high-aluminous mineral of the tourmaline group. - Zapiski Vses. Mineralog. Obsch., 119-123 (in russisch).
- STÜWE, K. und POWELL, R. (1995): PT Paths from modal proportions: application to the Koralpe Complex, Eastern Alps. - Contrib. Mineral. Petrol., 119, 83-93.
- TAUCHER, J., WALTER, F. und POSTL, W. (1994): Mineralparagenesen in Pegmatiten der Koralpe. - Matrix, Bd. 3, 19-52, Graz.
- THOMPSON, A.B. (1990): Heat, fluids and melting in the granulite facies. - In: Granulites and Crustal Evolution (Hrsg.: D. Vielzeuf und Ph. Vidal), 37-57, Dordrecht (Kluwer).
- THÖNI, M. und JAGOUTZ, E. (1992): Some new aspects of dating eclogites in orogenic belts: Sm-Nd, Rb-Sr, and Pb-Pb isotopic results from the Austroalpine Saualpe and Koralpe typ-locality (Carinthia/Styria, southeastern Austria). - Geochim. Cosmochim. Acta, 56, 347-368.
- TOMISAKA, T. (1968): Syntheses of some end-members of the tourmaline group. - Min. Journ. (Japan), 5, 355-364.
- VOLL, G. (1969): Klastische Mineralien aus den Sedimentserien der Schottischen Highlands und ihr Schicksal bei aufsteigender Regional- und Kontaktmetamorphose. - Habilitation, Techn. Univ. Berlin, 206 S., Berlin.
- WALITZ, E.M. und WALTER, F. (1991): Die Morphologie der Fersmitkristalle aus dem Turmalinpegmatit östlich der Stoffhütte, Koralpe, Steiermark. - Mitt. Abt. Miner. Landesmuseum Joanneum, 59, 9-12.
- WEISENBACH, N. (1965): Geologie und Petrographie der eklogitführenden hochkristallinen Serien im zentralen Teil der Saualpe, Kärnten. - Dissertation, Bergakademie Clausthal, 205 S.
- WEISSENSTEINER, G. (1979): Mineralien der Koralpe. - Die Eisenblüte, Sonderbd., 1/79, 47 S., Graz.
- WODARA, U. (1996): Synthese und Eigenschaften von Turmalinen im System  $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{B}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$ . - Diplomarbeit, Ruhr-Universität Bochum, 99 S.
- WODARA, U. und SCHREYER, W. (1997): Turmaline mit Borüberschuß im System  $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$  (NABSH). - Berichte der Deutschen Min. Ges., Beih. z. Eur. J. Mineral., 9.
- ZOBETZ, E. (1990): Geometrische Größen und einfache Modellrechnungen für  $\text{BO}_4$ -Gruppen. - Z. Kristallogr., 191, 45-57.

Anschrift der Verfasser:

Andreas ERTL  
 Institut für Mineralogie und Kristallographie  
 Geozentrum – Universität Wien  
 Althanstraße 14, A-1090 Wien

Dr. Franz BRANDSTÄTTER  
 Mineralogisch-Petrographische Abteilung  
 Naturhistorisches Museum Wien  
 Burgring 7, A-1014 Wien

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mitteilungen der Abteilung für Mineralogie am Landesmuseum Joanneum](#)

Jahr/Year: 1998

Band/Volume: [62-63](#)

Autor(en)/Author(s): Ertl Andreas, Brandstätter Franz

Artikel/Article: [Olenit mit Borüberschuß aus einem Metapegmatit östlich der Stoffhütte, Koralpe, Steiermark, Österreich 3-21](#)