

Petrographie und Mineralchemie von Skapolith aus dem Kristallin östlich der Hohen Tauern

von Johann G. RAITH

Zusammenfassung

Die mineralchemische und petrographische Zusammensetzung von Skapolith- bzw. Skapolith-führenden Gesteinen aus der Sau-, Kor- und Stubalpe, sowie von der Talklagerstätte Rabenwald werden dokumentiert. Skapolith kommt in folgenden Paragenesen vor: (1) in Skapolith-Quarzfelten in Ca-führenden Metapeliten (mehrere Vorkommen in der Saualpe; Pressinggraben, Koralpe), (2) in Klüften in Metabasiten, insbesondere in eklogitischen Gesteinen vom Gertrusk, Saualpe und (3) in kalksilikatischen Paragenesen. Alle untersuchten Skapolithe sind Mischkristalle zwischen Marialith und Mejonit, wobei die $[\text{Na}_4\text{Cl}]^{3+}$ - $[\text{NaCa}_3\text{CO}_3]^{5+}$ -Substitution dominiert. Die Mittelwerte von X_{Mejonit} ($X_{\text{Me}} = 100 \cdot \text{Ca} / (\text{Ca} + \text{Na} + \text{K})$) von Proben der Gruppe (1) variieren zwischen 59.5 - 70.1. In eklogitischen Paragenesen der Gruppe (2) sind zwei Skapolithgenerationen zu unterscheiden. Ältere Kerne haben $X_{\text{Me}} = 59.1$ - 64.4, z.T. epitaktische Anwachssäume sind hingegen Mejonit-ärmer ($X_{\text{Me}} = 31.1$ - 46.4). Skapolith aus amphibolitisierten Eklogiten vom Lithium-Bergbau auf der Weinebene ist Mejonit-reich ($X_{\text{Me}} = 75$) und Cl-arm, jener aus einer Kluffparagenese der Talklagerstätte Rabenwald zeigt intermediäre ($X_{\text{Me}} = 49.5$) und Cl-reichere Zusammensetzung. Intermediäre bis Mejonit-reiche Skapolithe ($X_{\text{Me}} = 55.2$ -75.3) sind auch für Kalksilikat-Gesteine des Hüttenberger Erzberges (Saualpe), der Lokalität Grabenbichler (Stubalpe) und des Steinbruches Hartner (Schwanberg, Koralpe) typisch. Skapolith von den beiden erstgenannten Lokalitäten ist durch höhere Schwefel-Gehalte ($X_{\text{S}} = 0.28$ bzw. 0.26) charakterisiert und koexistiert mit Pyrit. Skapolith vom Steinbruch Hartner dagegen ist vollständig karbonatisiert und Cl- und S-frei. Die Bildung der meisten Skapolithvorkommen wird mit regionalmetamorph-metasomatischen Prozessen während der retrograden eoalpidischen Metamorphose in Zusammenhang gebracht.

Summary

Petrographical and mineral chemical data of scapolites from the Stub-, Kor-, and Saualpe, and from the talc deposit Rabenwald are reported. Scapolite occurs in the following mineral assemblages: (1) in scapolite-quartz felsets hosted by Ca-bearing metapelites (several localities in the Saualpe; Pressinggraben, Koralpe), (2) in veins in metabasites, especially in eclogites from the Gertrusk, Saualpe, and (3) in calc-silicate assemblages. All scapolites are classified as members of the marialite-meionite series with $[\text{Na}_4\text{Cl}]^{3+}$ - $[\text{NaCa}_3\text{CO}_3]^{5+}$ -substitution being dominant. X_{meionite} (X_{Me} ; mean) of type 1 scapolite varies between 59.5 - 70.1. Two generations are distinguished in eclogite-hosted scapolite of type 2. Older cores give $X_{\text{Me}} 59.1$ - 64.4, younger partly epitactic overgrowths are richer in marialite ($X_{\text{Me}} = 31.1$ - 46.6). Scapolite from retrogressed amphibolitic eclogites from the Li-mine at the Weinebene is meionite-rich ($X_{\text{Me}} = 75$) and Cl-poor, that from metabasite-hosted veinlets at Rabenwald shows intermediate and Cl-richer composition ($X_{\text{Me}} = 49.5$). Intermediate to meionite-rich scapolites ($X_{\text{Me}} = 55.2$ - 75.3) are also typical for scapolite-bearing calc-silicate rocks from Hüttenberg (Saualpe), Grabenbichler (Stubalpe) and the Hartner quarry (Schwanberg, Koralpe). Samples from the first two localities contain pyrite coexisting with scapolite; they are characterized by higher sulphur-contents ($X_{\text{S}} = 0.28$

and 0.26, respectively). In contrast the samples from the Hartner-quarry are fully carbonated and Cl- and S-free. A regional metamorphic-metasomatic origin related to the retrograde Eoalpine metamorphism is favoured for most of the occurrences.

Einleitung

Die allgemeine Formel von Skapolith, einem tetragonalen Silikat mit komplexer Gerüststruktur ist $M_4T_{12}O_{24}A$ ($M = Na, K, Ca$; $T = Si, Al$ und $A = Cl, CO_3, S$ -Spezies, OH) (SHAW, 1960; EVANS, 1969; HASSAN & BUSECK, 1988; TEERTSTRA & SHERRIFF, 1997). Es existieren zwei isomorphe Mischungsreihen zwischen den beiden von der IMA akzeptierten Endgliedern Marialith $Na_4Al_3Si_9O_{24}Cl$ (Ma) und Mejonit $Ca_4Al_6Si_6O_{24}CO_3$ (Me) (BAYLISS, 1987). Sie lassen sich durch $[Na_4Cl]^{3+} - [NaCa_3.CO_3]^{5+}$ bzw. $[NaCa_3.CO_3]^{5+} - [Ca_4.CO_3]^{6+}$ -Substitution erklären (HASSAN & BUSECK, 1988). Eine weitere Varietät, die früher auch als selbständiges Endglied angesehen wurde, ist Mizzonit ($NaCa_3Al_5Si_7O_{24}CO_3$). Ähnlich Mejonit ist Mizzonit vollständig karbonatisiert, d.h. die A-Position wird vollständig von CO_3 -Anionengruppen eingenommen. Allerdings wird max. 1/4 der Gitterplätze der M-Position von Na besetzt, wobei der Ladungsausgleich, ähnlich wie bei Plagioklassen, über gekoppelte Al-Si Substitution in der T-Position erfolgt.

Von wissenschaftlichem Interesse ist Skapolith vor allem wegen seiner Fähigkeit Anionen/Anionenkomplexe, wie Cl^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} etc., in seine Struktur einzubauen. In Verbindung mit seinem weiten, auch experimentell bestätigten, Stabilitätsbereich in Gesteinen krustaler Herkunft liefert er daher wertvolle Informationen über die Zusammensetzung und Herkunft der fluiden Phase während der Mineral- und Lagerstättenbildung im Zuge magmatisch- oder metamorph-metasomatischer Prozesse. Studien an Skapolith trugen somit bei zur Klärung der Rolle von CO_2 bei hochgradiger Metamorphose (GOLDSMITH, 1976; MOECHER, 1993), ermöglichten die Ableitung von Druck-Temperatur-Fluid-Entwicklungspfaden in Granuliten (HARLEY et al., 1994) oder erlaubten das Erkennen metaevaporitischer Gesteinsabfolgen (z.B. OLIVER et al., 1992; GÓMEZ-PUGNAIRE et al., 1994).

Skapolith wurde mehrfach aus dem ostalpinen Kristallin östlich der Hohen Tauern beschrieben, wobei besonders von der Saualpe zahlreiche Fundpunkte bekannt wurden (RAITH & HÖGELSBERGER, 1994, cum lit.). Aber auch aus dem Kristallin der Stubalpe (NIEDERMAYR et al., 1991), der Koralpe (NIEDERMAYR et al., 1989) und der Millstätter Alpe (NIEDERMAYR et al., 1996) wurde bis zuletzt immer wieder von Skapolithfunden berichtet. In diesem Artikel wird die petrographische und mineralchemische Zusammensetzung einiger Skapolithvorkommen in der Steiermark und in Kärnten dokumentiert. Neben eigenem Aufsammlungsmaterial, es stammt vor allem aus dem Gipfelbereich der Saualpe (Umgebung Gertrusk), wurde in diese Studie auch Material aus den öffentlichen Sammlungen des Landesmuseums Joanneum und des Landesmuseums für Kärnten, sowie aus privaten Sammlungen einbezogen (Appendix 1).

Petrographie

Gertrusk, Saualpe

Aus dem Gipfelbereich der Saualpe sind aus der Umgebung des Gertrusk mehrere Fundpunkte mit Skapolith bekannt geworden (Appendix 1). Bei den meisten untersuchten Proben handelt es sich um loses Material, das aber, da im Gratbereich in umgebenden Eklogiten gesammelt, in unmittelbarer Nähe anstehen dürfte. Probe 18.851 des Landesmuseums für Kärnten wird als vom Randbereich eines Pegmatitganges im Eklogit stammend (Sammlungszettel, Aufsammlung WEISSENBACH, 1961) beschrieben. Hinsichtlich der Nebengesteine sind diese Vorkommen von den anderen Fundpunkten im Bereich der Saualpe (z.B. Grafenzeche, Beilstein-graben etc.) zu unterscheiden, in denen Skapolith-Quarzfelse zumeist an Ca-führende Metapelite bzw. Kalksilikatgesteine geknüpft sind (RAITH & HÖGELSBERGER, 1994).

Proben P188 und P189: Es sind dies massig derbe Skapolithgesteine, die durch ein mittel- bis grobkörnig granulares Gefüge von Skapolith mit untergeordnet Quarz charakterisiert sind. Skapolith zeigt sehr schönes Rekrystallisationsgefüge, was in auffälligen Korngrößenunterschieden der Skapolithkörner resultiert. Bereits optisch sind in diesen aus Eklogiten stammenden Proben zwei Typen von Skapolith unterscheidbar. Epitaktisch wachsen um Mejonit-reiche Kerne Marialith-reichere prismatische Skapolithkristalle bzw. Ränder an, die im Unterschied zu den Kernen keine Alteration zu Analcim etc. zeigen (Abb. 1 a, b). Optisch sind sie durch ihre niedrigere Lichtbrechung zu unterscheiden. Als Einschlußminerale im Skapolith sind akzessorisch Calcit, Biotit, Chlorit und Titanit vorhanden. Quarz, Chlorit und Muscovit kommen als Zwickelfüllungen zwischen Skapolith vor.

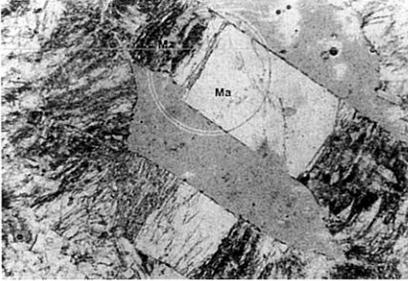


Abb. 1a

Abb. 1a: Prismatische Marialith-reiche Skapolithkristalle (*Ma*, nicht alteriert) epitaktisch auf intermediären Ca-Na-Skapolith (*Mz*, mit deutlicher Alteration) aufwachsend. Probe P188, Gertrusk, Saualpe. Nicht gekreuzte Polarisatoren. Bildbreite ca. 2.5 mm. Kreisförmige Markierung für EMS-Analytik.

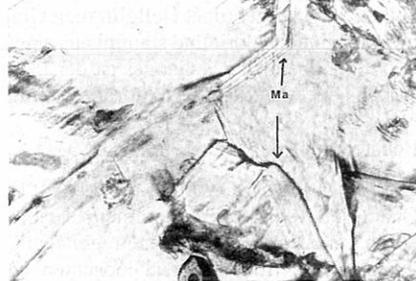


Abb. 1b

Abb. 1b: Zonare Anwachssäume von Marialith-reichem Skapolith (*Ma*, Pfeile) um Mejonit-reichere Kerne. Probe 188, Gertrusk, Saualpe. Nicht gekreuzte Polarisatoren. Bildbreite ca. 0.8 mm.

In Probe P92, einem Skapolith-Quarzfels, kommen Quarz, Titanit, Biotit, Klinozoisit/Epidot und Karbonat als akzessorische Gemengteile in Skapolith vor. Muscovit, Chlorit und Analcim sind Umwandlungsprodukte von Skapolith. Rutil und Mn-führender Ilmenit entstehen durch Alteration von Titanit. Reliktisch erhaltene Epidotkerne sind teilweise Ce-reich. Röntgenographisch (XRD) wurde in dieser Probe Analcim, der ein Alterationsprodukt von Skapolith ist, nachgewiesen.

Probe GIII ist ein typischer Skapolith-Quarzfels mit hypidio- bis idiomorphen prismatischen Skapolithkristallen in einer grobkörnigen monokristallinen Quarzmatrix. Quarz tritt auch als Einschlußmineral in Skapolith auf. Entlang von mit Quarz verheilten Rissen bildet sich einschlußfreier, an seiner niedrigeren Lichtbrechung erkennbarer Na-reicher Skapolith. Sekundäre Umwandlung von Skapolith zu Muscovit ist häufig.

Probe LMK 18.851: Skapolith-Quarzfels mit Chlorit und Azurit. Prismatische bis zu 2 cm lange, teilweise alterierte Skapolithkristalle zeigen keine bevorzugte Orientierung. Xenomorpher Quarz und Chlorit treten als Zwickelminerale auf. Sekundär bildet sich akzessorisch auftretender Azurit.

Lithiumbergbau Brandrücken, Weinebene, Koralpe

Probe LMJ 72.209: Es handelt sich um massig derben Skapolith, der gemeinsam mit Biotit ($X_{Mg} = 0.57$) und wenig Plagioklas, sowie Titanit (teilweise mit Nb-führenden Rändern) auftritt. Muscovit und Klinozoisit/Epidot sind akzessorisch auftretende Alterationsminerale. Die prismatischen Skapolithkristalle, die im Schnitt normal auf die Mineralelongation ein granulares Pflastergefüge zeigen, sind in Schnitten parallel zur Elongationsrichtung deutlich eingeregelt. Die unmittelbaren Nebengesteine sind Biotitschiefer, die ihrerseits geringmächtige Einschäl-

tungen in amphibolitisierten Eklogiten bilden (pers. Mitt. G. WEISSENSTEINER, 1997). Vergleichbares Material mit Skapolith, Holmquistit, Fairfieldit-Messelit etc. stammt nach NIEDERMAYER et al. (1989) vom Kontakt des amphibolitisierten Nebengesteins zum Spodumenepgmatit.

Pressinggraben (auch Prössinggraben), Koralpe

Probe PG 1: Hypidio- bis idiomorphe prismatische Skapolithkristalle treten in einer grobkörnigen monokristallinen Quarzmatrix in diesem Skapolith-Quarzfels auf. Grobkörniger Plagioklas ($X_{An} = 0.62$) ist ein Nebengemengteil. Als Einschlüsse in Skapolith sind Quarz, Biotit ($X_{Mg} = 0.64$), Chlorit, Plagioklas ($X_{An} = 0.29$), Titanit, Ilmenit, Klinozoisit und Muscovit zu nennen. Muscovitisierung ist verbreitet.

Probe LMK 18.692: Hier ist das Nebengestein ein Plagioklasgneis, der neben Plagioklas und Quarz untergeordnet Hellglimmer, Granat und Chlorit führt. Skapolith ist vergesellschaftet mit Quarz und Chlorit und stammt aus einem diskordant die Schieferung durchsetzenden Gang. Im Kontaktbereich des Ganges ist der Plagioklas des Nebengesteins über mehrere Zentimeter serizitisiert. Außerdem ist Chloritssprossung für diesen Kontaktbereich charakteristisch.

Beilsteingraben, Saualpe

Proben BG1, BG 2 und LMJ 29.544: Es sind dies massig derbe Skapolith- bzw. Skapolith-Quarz-Felse. In letzteren kommen z.T. idiomorph entwickelte prismatische Kristalle von Skapolith mit charakteristischen tetragonalen Querschnitten vor. Als Einschlüsse in Skapolith sind die folgenden Mineralien zu beobachten: Granat ($X_{Mg} = 0.18$), Biotit, primärer Muscovit, Chlorit (meist durch Umwandlung von Biotit entstanden), Klinozoisit/Epidot und Graphit. Die nach der Skapolithbildung stattfindende Alteration führte zur Bildung von sekundärem Muscovit, Albit, Chlorit und ev. Klinozoisit. Akzessorisch sind Ilmenit, sekundär gebildeter Rutil, Titanit, Zirkon und Graphit zu nennen.

Ladinger Kommune-Hütte, Saualpe

Probe LMK 18.850: Skapolith in dieser Probe ist massig, derb ausgebildet und ausschließlich mit Quarz vergesellschaftet. Muscovit bildet Reaktionssäume um Skapolith. Hinsichtlich der Paragenese ist dieses und das Vorkommen vom Beilsteingraben mit jenen von der Grafenzeche und der Gstettihütte (RAITH & HÖGELSBERGER, 1994) direkt vergleichbar.

Löllinggraben: Steinbruch nahe Schlosserwirt, Saualpe

Probe HÜ1: Skapolith tritt in diesem Vorkommen als Kluftmineral in einer kalksilikatischen Paragenese und am Kontakt mit Kalksilikatmarmoren auf. Makroskopisch bildet er freistehende bzw. im Marmor eingewachsene prismatische Kristalle. Unter dem Mikroskop zeigt die Probe ein grobkörnig granulares Gefüge bestehend aus Skapolith, Quarz und Calcit. Zwischen bis zu 3 cm großen Skapolithkristallen ist ein feinkörniges, perfekt rekristallisiertes Skapolith-Quarz-Gefüge entwickelt. Karbonat kommt als Zwickelmineral und entlang von Rissen im Skapolith gemeinsam mit Muscovit und Chlorit vor. Muscovit bildet büschelige Aggregate und entsteht durch Alteration von Skapolith. Akzessorien sind Titanit, Zirkon, Rutil und Epidot, letzterer mit mittels EDS deutlich nachweisbaren Gehalten an SEE, Th und U.

Hüttenberger Erzberg, Saualpe

Proben LMK 19.625, 19.627, 19.633: Bei diesem aus der ehemaligen Werksammlung Hüttenberg stammenden Material handelt es sich um Skapolith in Kalksilikatgesteinen. In Probe 19.627 tritt Skapolith als spätes Kristallisationsprodukt in der Kontaktzone zwischen einem Calcitmarmor und einem phlogopitreichen Kalksilikatmarmor, der neben Phlogopit noch Tremolit, Klinozoisit, Calcit, Quarz und Pyrit führt. Skapolith überwächst die genannten Minerale (Abb. 1 c). Die Amphibole in dieser Probe sind als sehr reine Tremolite ($X_{Mg} = 0.98$) klassifiziert und koexistieren mit Phlogopit ($X_{Mg} = 0.97$) und Fe-armem Klinozoisit.

Im Bereich des Gossener Reviers kam Skapolith in Paragenese mit Quarz, Pyrit, und Rutil vor. Skapolith ist in dieser Probe (LMK 19.633) vollständig von Karbonat und einem faserigen Mineral, in dem H. MEIXNER laut Sammlungszettel Thomsonit vermutete, paramorphisiert (Abb. 1d). Die EDS-Analyse ergab aber eindeutig eine SiO_2 -Modifikation. Da die faserigen Mineralaggregate optisch einachsigt positiv sind und positiven Zonencharakter zeigen, liegt offensichtlich Chaledon und zwar Quarzin vor. Alkalifeldspat ($X_{\text{Or}} = 0.93$) und Diopsid ($X_{\text{Mg}} = 0.95$) sind relictlich erhalten. Fe-armer Klinozoisit und Calcit sind als Alterationsminerale um Fe-reichere Epidotkerne in Probe LMK 19.625 zu beobachten, die neben Pyrit (mit Einschlüssen von Rutil) sekundären Muscovit, aber keinen Skapolith erkennen läßt.

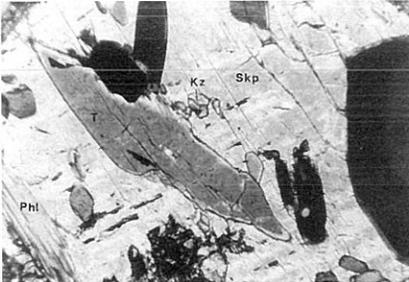


Abb. 1c



Abb. 1d

Abb. 1c: Einschlüsse von Tremolit (*Tr*), Klinozoisit (*Kz*), Phlogopit (*Phl*) und Pyrit (opak), in Skapolith (*Skp*), der deutliche Spaltbarkeit nach (100) zeigt. Probe LMK 19.627, Hüttenberger Erzberg, Saualpe. Nicht gekreuzte Polarisatoren. Bildbreite ca. 0.8 mm.

Abb. 1d: Pseudomorphosen von faserigem Chalcedon (*Ch*) nach Skapolith in z.T. umgewandeltem Karbonat. Teilweise sind die für Skapolith typischen rechteckigen Kristallquerschnitte noch erkennbar. Probe LMK 19.633, Hüttenberger Erzberg, Saualpe. Nicht gekreuzte Polarisatoren. Bildbreite ca. 2.5 mm.

Grabenbichler, Gößnitzwinkel, Stubalpe

Probe LMJ 71.288: Bei diesem leicht angewitterten Material handelt es sich um massig derbe Skapolithgesteine aus einer kalksilikatischen Paragenese. Nach NIEDERMAYR et al. (1991) tritt Skapolith in den quarzreichen Randpartien eines Kalksilikatmarmors, der den Gneisen des Stubalpenkristallins zwischengeschaltet ist, auf. Pyrit, oft von mehreren cm Kantenlänge ist neben Phlogopit nach diesen Autoren ein charakteristisches Begleitmineral. Die untersuchte Probe zeigt deutliche Mineraleinregelung von Skapolith, wobei lagenweise Phlogopit ($X_{\text{Mg}} = 0.70$) angereichert sein kann. Ein weiteres häufiges Matrixmineral ist Calcit. Akzessorisch treten Epidot, Chlorit, Zirkon, Rutil, Apatit und Pyrit auf. In einzelnen Bereichen des Schliffes sind grobkörniger Plagioklas ($X_{\text{An}} = 0.22$) und Kalifeldspat vorhanden. Muscovit und reiner Albit ($X_{\text{An}} = 0.01$) sind sekundär gebildete Alterationsminerale.

Steinbruch Hartner, Schwanberg, Koralpe

Proben HBI-8: Bis zu mehrere cm große Skapolithe treten hier in einer kalksilikatischen Paragenese auf. Die grobkörnige metamorphe Peak-Paragenese umfaßt: Skapolith - Diopsid ($X_{\text{Mg}} = 0.4 - 0.5$) - Klinozoisit/Epidot - Karbonat - Quarz - Titanit \pm Plagioklas ($X_{\text{An}} = 0.49$) \pm Graphit. Stark pleochroitischer Mg-Fe Turmalin ($X_{\text{Mg}} = 0.63$), er kristallisiert später als Skapolith (Abb. 1 e), ist für einige Proben typisch. Einzelne Bereiche des Schliffes sind reich an Alkalifeldspat ($X_{\text{Or}} = 0.93$), Plagioklas und Quarz. Als Einschlusminerale in Diopsid sind Biotit, Quarz und Calcit zu nennen. Hornblende bildet sich durch Umwandlung von Diopsid, oft entlang von Spaltrissen bzw. als Koronas an den Diopsidkorngrenzen und ist mit Klinozoisit/

Epidot, Quarz, Calcit und Plagioklas assoziiert. Klinozoisit/Epidotkoronas sind um Calcit entwickelt. Myrmekitische bzw. graphische Verwachsungen von Quarz und Plagioklas/Alkalifeldspat sind vereinzelt beobachtbar. Graphit, Pyrit, Pyrrhotin, sehr wenig Chalcopyrit, letzterer nur als Einschlußmineral in Pyrrhotin, sind die im Auflicht identifizierten opaken Phasen. Sie sind ebenfalls Teil der Peak-Paragenese. Alle Proben zeigen eine sehr feinkörnige Alterationsparagenese, bestehend aus Fe-armem Klinozoisit, Calcit, Muscovit, Quarz und Na-reichem Plagioklas. Diese Umwandlung erfolgte syndeformativ und betrifft vor allem die großen Skapolithkristalle (Abb. 1f). Skapolithfreie Nebengesteine sind als Diopsid-Plagioklasfelse zu klassifizieren. Diesen plagioklasreichen Proben fehlt, bei sonst ähnlichem Mineralbestand, Skapolith. Phlogopit ist in diesen Proben ein weiterer Nebengemengteil.



Abb. 1e

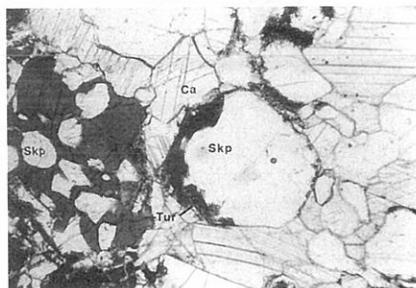


Abb. 1f

Abb. 1e: Gelängte xenomorphe Skapolitheinzelkristalle (*Skp*, farblos) in einer feinkörnigen Alterationsparagenese aus Klinozoisit, Calcit, Albit, Quarz. Die Deformation und Umwandlung der Skapolithe ist deutlich erkennbar. Probe HB3 (=LMJ 225-96), Steinbruch Hartner, Schwanberg, Koralpe. Nicht gekreuzte Polarisatoren. Bildbreite ca. 2.5 mm.

Abb. 1f: Stark pleochroitischer Fe-Mg-Tourmalin (*Tur*, dunkel) übersproßt Skapolith (*Skp*, farblos) und koexistiert mit Calcit (*Ca*, Zwillingslamellen). Probe HB3 (=LMJ 225-96), Steinbruch Hartner, Schwanberg, Koralpe. Nicht gekreuzte Polarisatoren. Bildbreite ca. 2.5 mm.

Talkbergbau, Rabenwald

Probe LMJ 211-95 (= RW 1, RW 2): Skapolith ist auf ein dünnes (ca. 1 cm) starkes Gängchen in einem Amphibolgestein (Hornblendit) beschränkt. Die Kluftparagenese besteht aus einem fast monomineralischen Aggregat prismatischer Skapolithkristalle mit sehr wenig Klinozoisit/Epidot. Die hornblenditischen Nebengesteine bestehen aus Hornblende (Tremolit-Aktinolith bis tremolitische Hornblende; $X_{Mg} = 0.90 - 0.95$) mit Quarz, Karbonat und Chlorit als Nebengemengteilen. Chlorit \pm Muscovit \pm Karbonat und Quarz treten vor allem in den Zwickeln von Hornblende auf und bilden sich meist durch Umwandlung von Hornblende. Apatit, Titanit und Graphit sind primäre Akzessorien.

Ergebnisse der EMS Untersuchungen

Die mineralchemische Zusammensetzung der Skapolithe wurde mittels einer ARL-SEMQ Elektronenstrahl-Mikrosonde (EMS) mit angeschlossenem energiedispersiven System (EDS) der Fa. LINK am Institut für Geowissenschaften der Montanuniversität Leoben analysiert. Die Meßbedingungen waren 20 kV und 20 nA, die Meßzeiten am Peakmaximum und -untergrund 10 bzw. 4 s. Für die Standardisierung des Gerätes wurden natürliche Mineralstandards verwendet, wobei die Datenkorrektur nach dem Modell von ARMSTRONG, LOVE & SCOTT erfolgte. Die Mineralformel von Skapolith wurde auf der Basis $Si+Al=12$ berechnet. Für die Berechnung des

Kohlenstoffes wurde, da nur Cl und S gemessen wurden, die vereinfachte Annahme getroffen, daß H₂O und/oder OH nicht bzw. nur in vernachlässigbaren Mengen in der Skapolithstruktur vorhanden ist. Unter der weiteren vereinfachten Annahme einer vollständigen Besetzung der A-Position (Cl+S+C=1) wurden die Gew. % CO₂ aus der Stöchiometrie rückberechnet. Die Schwankungsbreite der Skapolith-Zusammensetzung einzelner Proben ist aus Tabelle 1 und Abb. 2 a-c ersichtlich. Ausgewählte Einzelanalysen sind in Tabelle 2 aufgelistet. Die Zusammensetzung der Skapolithe wird als X_{Mejonit} (X_{Me} = 100*Ca/(Ca+Na+K)) angegeben.

Im folgenden wird die Mineralchemie in Hinblick auf die unterschiedlichen Paragenesen präsentiert, wobei zwischen Skapolith aus (1) Metapeliten, (2) Metabasiten (v.a. eklogitische Nebengesteine) und (3) kalksilikatischen Paragenesen unterschieden wird.

Skapolithe aus Skapolith-Quarzfeldern der Saualpe (Beilsteingraben, Ladinger Kommune-Hütte etc.), deren unmittelbare Nebengesteine pelitisch-psammitischen Ursprungs sind, sind als intermediäre Ca-Na-Skapolithe (X_{Me} = 59.5 - 70.1) zu charakterisieren (Tab. 1; Abb. 2a). Die Zahl (Mittelwerte) der Al-Kationen liegt zwischen 4.28 - 4.39, die der Cl-Anionen zwischen 0.22 - 0.30 pro Formeleinheit. Alle diese Proben sind schwefelfrei. Die Zusammensetzung dieser Skapolithe ist ident mit jenen von anderen Lokalitäten auf der Saualpe (z.B. Grafenzeche, Gstettihütte) in denen Skapolith an massive spätmetamorph gebildete Skapolith-Quarzgänge geknüpft ist (RAITH & HÖGELSBERGER, 1994). Aus dem Bereich der Koralpe ist das Vorkommen vom Pressingraben (Probe PG1), in dem Skapolith ebenfalls mit Quarz vergesellschaftet ist, am ehesten mit dieser Probengruppe vergleichbar. Diese Analysen sind im Mittel aber etwas Al-reicher (4.46 ± 0.07) und Cl-ärmer (0.12 ± 0.04), was auch in einer etwas höheren Mejonitkomponente (X_{Me} = 70.1) resultiert.

Skapolithe aus Metabasiten stammen vorwiegend aus dem Gipfelbereich des Gertrusk, wo Eklogite die unmittelbaren Nebengesteine darstellen. Mineralchemisch lassen sich interessanterweise zwei Untergruppen unterscheiden (Abb. 2b, Abb. 3). (a) Intermediäre Ca-Na-Skapolithe (X_{Me} = 59.1 - 64.4) sind auf die Kernbereiche von Kristallen beschränkt. Die Zahl der Al-Kationen dieser Analysen liegt zwischen 4.27 und 4.81. Die mittlere Cl-Anionenanzahl ist 0.21 - 0.29. (b) Bei der zweiten jüngeren Skapolithgeneration, sie bildet bevorzugt Anwachssäume um die intermediären Kerne, handelt es sich um Na- und Cl-reichere Skapolithe (X_{Me} = 31.1 - 46.4). Bei durchschnittlich niedrigeren Al-Kationenzahlen (4.01 - 4.27) führen diese Skapolithe 0.60 - 0.66 Cl. Diese ebenfalls schwefelfreien Skapolithe sind somit als Marialith-reiche Skapolithe zu klassifizieren. Cl-reicher Skapolith (X_{Me} = 49.5; 0.58 ± 0.02 Cl) tritt außerdem in der Probe vom Rabenwald, hier bildet er Klüfte in Hornblenditen, auf. Mejonit-reicher Skapolith (X_{Me} = 75) in amphibolitisierten Eklogiten des Li-Bergbaus vom Brandrücken, Weinebene, ist im Gegensatz dazu Cl-arm (0.03 Cl), S-frei und liegt nahe der theoretischen Mizzonitzusammensetzung (Abb. 2b).

Skapolith aus kalksilikatischen Paragenesen zeigt eine stärkere Schwankungsbreite in seiner Zusammensetzung (Abb. 2c). An Klüfte im Kalksilikatmarmor gebundener Skapolith aus dem Löllinggraben (Probe HÜ1) ist hinsichtlich seiner Zusammensetzung sehr ähnlich den oben beschriebenen intermediären Ca-Na-Skapolithen (X_{Me} = 64.6; Al 4.39 ± 0.10; Cl 0.23 ± 0.06) aus metapelitisch/psammitischen Gesteinen. Die Probe vom Hüttenberger Erzberg (Revier Goszen; LMK 19.627) zeigt X_{Me} = 72.9, Al 4.46 ± 0.17 und niedrigere Cl-Werte von 0.07 ± 0.02. Allerdings wird in dieser pyritführenden Probe ein beträchtlicher Teil der Anionen durch Schwefel substituiert (X_S = 0.28 ± 0.02). Material aus Kalksilikatmarmoren vom Grabenbichler, Stubalpe, (Probe LMJ 71.288), in dem auch Pyrit auftritt, ist ebenfalls Schwefel-reich. Neben 0.21 ± 0.02 Cl führt auch diese Probe 0.26 ± 0.02 S. Mehrere Proben aus dem Steinbruch Hartner, Schwanberg, sind Al-reich (Al 4.76 ± 0.23), bauen aber interessanterweise weder Chlor noch Schwefel in die A-Position ein. Sie sind als vollständig karbonatisierte Skapolithe zu interpretieren und liegen im Al-Cl-Diagramm (Abb. 2c) sehr nahe dem theoretischen Mizzonit-Endglied (X_{Me} = 75.3 ± 7.2; Tab. 1).

Der dominierende Substitutionsmechanismus in *allen* bearbeiteten Skapolithen ist [Na₄Cl]³⁺ - [NaCa₃.CO₃]⁵⁺, wobei allerdings häufig Abweichungen von der Idealsubstitution zu beobach-

Tabelle 1.

Mittelwerte (MW) und Standardabweichung (s) der Kationen und Anionen von n Analysen. Berechnung der Kationen auf der Basis Si+Al = 12; Berechnung des Kohlenstoffs auf der Annahme \sum Anionen = 1; $X_{Al} = Al/(Si+Al)$; $X_{Mejonit} = Ca/(Ca+Na+K)$; $Eq_{An} = (Al-3)/3$. MP metapelitische, KS kalk-silikatische, MB metabasitische Nebengesteine bzw. Paragenesen.

	BG1+BG2		LMJ 29.544		LMK 18.850		PG1		HÜ1		LMK 19.627		HB		LMJ 71.288	
	MP		MP		MP		MP		KS		KS		KS		KS	
	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s
Si	7,72	0,11	7,61	0,19	7,62	0,07	7,54	0,07	7,61	0,10	7,54	0,17	7,24	0,23	7,79	0,11
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al	4,28	0,11	4,39	0,19	4,38	0,07	4,46	0,07	4,39	0,10	4,46	0,17	4,76	0,23	4,21	0,11
Fe ²⁺	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Ca	2,26	0,06	2,24	0,13	2,44	0,09	2,81	0,15	2,50	0,15	2,78	0,07	2,90	0,39	2,21	0,10
Na	1,43	0,10	1,23	0,15	1,20	0,11	1,12	0,12	1,30	0,16	0,98	0,11	0,93	0,25	1,76	0,07
K	0,12	0,02	0,11	0,02	0,09	0,02	0,08	0,02	0,07	0,02	0,06	0,01	0,02	0,01	0,04	0,01
Cl	0,30	0,02	0,29	0,03	0,22	0,02	0,12	0,04	0,23	0,06	0,07	0,02	0,02	0,08	0,21	0,02
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28	0,02	0,00	0,00	0,26	0,02
C	0,70	0,02	0,71	0,03	0,77	0,02	0,88	0,04	0,76	0,06	0,65	0,01	0,98	0,08	0,52	0,02
X_{Al}	0,36	0,01	0,37	0,02	0,37	0,01	0,37	0,01	0,37	0,01	0,37	0,01	0,40	0,02	0,35	0,01
$X_{Mejonit}$	59,50	1,54	62,78	1,92	65,49	2,12	70,06	3,30	64,60	3,76	72,92	2,20	75,36	7,18	55,28	1,48
Ca+Na+K	3,80	0,13	3,58	0,28	3,73	0,15	4,02	0,08	3,88	0,14	3,82	0,16	3,84	0,29	4,02	0,12
Eq_{An}	0,43	0,04	0,46	0,06	0,46	0,02	0,49	0,02	0,46	0,03	0,49	0,06	0,59	0,08	0,40	0,04
n	13		8		9		9		7		5		14		13	

Tabelle 1. Fortsetzung

	LMJ 72.209		LMK18.851		GIII Kern		GIII Rand		P188 u. 189 Kern		P188 u. 189 Rand		P92		RW1	
	KS		MB		MB		MB		MB		MB		MB		MB	
	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s
Si	7,49	0,07	7,73	0,07	7,69	0,05	7,99	0,19	7,19	0,06	7,75	0,11	7,23	0,09	7,77	0,05
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al	4,51	0,07	4,27	0,07	4,31	0,05	4,01	0,19	4,81	0,06	4,25	0,11	4,77	0,09	4,23	0,05
Fe ²⁺	0,01	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Mn	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	3,03	0,11	2,36	0,09	2,32	0,06	1,42	0,02	2,38	0,06	1,26	0,19	2,31	0,08	1,44	0,10
Na	0,99	0,07	1,23	0,11	1,35	0,24	1,58	0,14	1,59	0,17	2,74	0,39	1,75	0,08	1,45	0,57
K	0,03	0,00	0,09	0,03	0,04	0,00	0,07	0,02	0,07	0,02	0,10	0,02	0,05	0,01	0,10	0,01
Cl	0,03	0,00	0,29	0,03	0,25	0,01	0,60	0,05	0,21	0,02	0,66	0,10	0,24	0,01	0,58	0,02
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C	0,97	0,00	0,71	0,03	0,75	0,01	0,40	0,05	0,79	0,02	0,34	0,10	0,76	0,01	0,42	0,02
X _{Al}	0,38	0,01	0,36	0,01	0,36	0,00	0,33	0,02	0,40	0,01	0,35	0,01	0,40	0,01	0,35	0,00
X _{Mejonit}	74,97	2,02	64,38	1,95	62,63	4,57	46,41	2,18	59,12	2,95	31,08	6,33	56,41	1,50	49,51	8,79
Ca+Na+K	4,05	0,07	3,68	0,14	3,71	0,21	3,07	0,15	4,05	0,16	4,10	0,25	4,11	0,10	2,98	0,49
Eq _{An}	0,50	0,02	0,42	0,02	0,44	0,02	0,34	0,06	0,60	0,02	0,42	0,04	0,59	0,03	0,41	0,02
n		8		10		5		5		19		9		9		8

ten sind. Skapolith aus Skapolith-Quarzfelsen und aus kalksilikatischen Paragenesen (Abb. 2a und 2c) liegen im Al-Cl-Diagramm entlang und meist unterhalb der Marialith-Mizzonit-Mischungslinie. Solche aus eklogitischen Nebengesteinen plotten unterhalb oder im durch die beiden Mischungslinien Marialith-Mizzonit und Marialith-Mejonit aufgespannten Dreieck (Abb. 2b). Einige Na-Cl-reiche Analysen liegen sogar oberhalb der Marialith-Mejonit-Mischungslinie. Da die X_{Me} -Werte mit den Cl-Gehalten korrelieren, könnte eine mögliche Erklärung für diese Abweichungen von der idealen Mischbarkeit die nicht vollständige Besetzung der A-Position sein. Durch die Unmöglichkeit CO_2 , aber auch H_2O und OH , mit der EMS zu analysieren ist dies für die untersuchten Proben nicht auszuschließen. Tatsächlich zeigen vollständige Skapolithanalysen (z.B. in DEER et al., 1992) oder auch Überlegungen zur Ladungsbilanz (TEERSTRA & SHERRIFF, 1997) oft eine unvollständige Besetzung der A-Position.

Tabelle 2.

Ausgewählte Einzelanalysen von Skapolith. Zur Berechnung der diagnostischen Parameter X_{Al} , $X_{Mejonit}$ und Eq_{An} siehe Tabelle 1. * Berechnung des Kohlenstoffs auf der Annahme $Cl+S+C = 1$ (siehe Text); Probenbezeichnung und -herkunft siehe Appendix 1.

	18.850 1/3	18.851 3/1	18.851 1/1	19.627 1/2	19.627 3/5	BG1 4/5	BG2 2/2	GIII 1/3.	HB1 4/1	HB4 4/4	HÜ1 3/1.	HÜ1 3/3.
SiO ₂	50,71	51,65	52,13	49,23	47,54	51,39	51,17	51,88	50,25	45,67	49,83	51,08
TiO ₂	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,00
Al ₂ O ₃	25,59	23,73	23,19	24,20	26,07	24,06	24,81	24,23	28,35	27,89	24,70	24,18
FeO	0,03	0,19	0,03	0,02	0,05	0,02	0,26	0,00	0,03	0,09	0,08	0,02
MnO	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,01	0,04	0,00	0,03	0,04	0,00
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	14,19	15,28	13,94	16,58	16,94	13,81	13,46	14,17	13,17	18,80	16,16	14,04
Na ₂ O	4,09	4,12	5,04	3,66	3,01	5,34	4,56	5,05	3,29	3,09	4,11	5,44
K ₂ O	0,42	0,68	0,27	0,36	0,27	0,45	0,64	0,23	0,12	0,06	0,29	0,40
Cl-	0,97	1,07	1,32	0,32	0,19	1,15	1,15	1,02	0,00	0,01	0,76	1,31
SO ₃	0,00	0,02	0,02	2,40	2,68	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
CO ₂ *	3,73	3,52	3,20	3,03	3,07	3,44	3,47	3,64	5,11	4,78	3,88	3,21
O=Cl	99,74	100,26	99,16	99,81	99,83	99,68	99,55	100,26	100,34	100,44	99,87	99,72
	0,22	0,24	0,30	0,07	0,04	0,26	0,26	0,23	0,00	0,00	0,17	0,30
Total	99,52	100,02	98,86	99,74	99,79	99,42	99,29	100,03	100,34	100,44	99,69	99,42
Berechnung auf Si+Al=12												
Si	7,525	7,785	7,873	7,598	7,289	7,733	7,636	7,740	7,208	6,978	7,575	7,703
Ti	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,002	0,000
Al	4,475	4,215	4,127	4,402	4,711	4,267	4,364	4,260	4,792	5,022	4,425	4,297
Fe ²⁺	0,004	0,024	0,004	0,003	0,006	0,003	0,032	0,000	0,004	0,011	0,010	0,003
Mn	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,003	0,001	0,005	0,000	0,004	0,005	0,000
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	2,256	2,468	2,256	2,742	2,783	2,227	2,152	2,265	2,024	3,078	2,632	2,268
Na	1,177	1,204	1,476	1,095	0,895	1,558	1,319	1,461	0,915	0,915	1,211	1,591
K	0,080	0,131	0,052	0,071	0,053	0,086	0,122	0,044	0,022	0,012	0,056	0,077
Cl	0,244	0,273	0,338	0,084	0,049	0,293	0,291	0,258	0,000	0,003	0,196	0,335
S	0,000	0,002	0,002	0,278	0,308	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005
C	0,756	0,724	0,660	0,638	0,642	0,707	0,707	0,742	1,000	0,997	0,804	0,661
X _{Al}	0,373	0,351	0,344	0,367	0,393	0,356	0,364	0,355	0,399	0,419	0,369	0,358
X _{Mejonit}	64,282	65,116	59,686	70,188	74,649	57,575	60,265	60,141	68,418	76,952	67,640	57,661
Ca+Na+K	3,512	3,802	3,783	3,908	3,730	3,871	3,593	3,769	2,961	4,005	3,900	3,936
Eq _{An}	0,492	0,405	0,376	0,467	0,570	0,422	0,455	0,420	0,597	0,674	0,475	0,432

Tabelle 2. Fortsetzung

	29.544 1/3	71.288 2/8	72.209 3/4	P188 3/4	P189 2/2	P188 3/5	P189 4/7	P92 2/8	P92 2/7	PG1 4/2.	RW1 1/2
SiO ₂	51,07	50,00	47,55	47,33	46,91	53,64	53,36	47,25	53,70	50,65	54,87
TiO ₂	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,04	0,00	0,02	0,00
Al ₂ O ₃	25,46	23,39	24,48	27,35	26,91	24,24	24,06	27,30	24,88	24,27	25,32
FeO	0,03	0,00	0,09	0,12	0,11	0,02	0,04	0,04	0,03	0,06	0,02
MnO	0,07	0,00	0,05	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
MgO	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	14,20	13,42	18,35	14,76	15,45	7,08	7,84	14,32	8,47	15,62	9,45
Na ₂ O	4,43	5,84	3,05	5,15	5,79	11,23	10,84	5,80	8,24	4,30	4,47
K ₂ O	0,74	0,18	0,12	0,46	0,44	0,64	0,41	0,40	0,35	0,60	0,57
Cl-	1,20	0,80	0,12	0,82	0,76	2,93	2,77	0,88	2,53	0,72	2,36
SO ₃	0,00	2,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CO ₂ *	3,46	2,37	4,51	3,84	3,86	1,38	1,55	3,76	1,93	3,94	2,24
O=Cl	100,66	98,50	98,33	99,83	100,30	101,16	100,87	99,79	100,14	100,18	99,30
Total	0,27	0,18	0,03	0,19	0,17	0,66	0,63	0,20	0,57	0,16	0,53
Total	100,39	98,32	98,31	99,64	100,12	100,50	100,24	99,59	99,57	100,02	98,77
Berechnung auf Si+Al=12											
Si	7,559	7,735	7,468	7,138	7,160	7,830	7,836	7,139	7,762	7,669	7,773
Ti	0,000	0,001	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,005	0,000	0,002	0,000
Al	4,441	4,265	4,532	4,862	4,840	4,170	4,164	4,861	4,238	4,331	4,227
Fe ²⁺	0,004	0,000	0,012	0,015	0,014	0,002	0,005	0,005	0,004	0,008	0,002
Mn	0,009	0,000	0,007	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Mg	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	2,252	2,224	3,088	2,385	2,526	1,107	1,234	2,318	1,312	2,534	1,434
Na	1,271	1,752	0,929	1,506	1,713	3,178	3,086	1,699	2,309	1,262	1,228
K	0,140	0,036	0,024	0,089	0,086	0,119	0,077	0,077	0,065	0,116	0,103
Cl	0,301	0,210	0,032	0,210	0,197	0,725	0,689	0,225	0,620	0,185	0,567
S	0,000	0,289	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	0,699	0,501	0,968	0,790	0,803	0,275	0,311	0,775	0,380	0,815	0,433
X _{Al}	0,370	0,355	0,378	0,405	0,403	0,348	0,347	0,405	0,353	0,361	0,352
X _{Mejonit}	61,609	55,462	76,540	60,086	58,627	25,180	28,136	56,720	35,676	64,860	51,914
Ca+Na+K	3,663	4,012	4,041	3,980	4,325	4,405	4,397	4,094	3,685	3,912	2,765
Eq _{An}	0,480	0,422	0,511	0,621	0,613	0,390	0,388	0,620	0,413	0,444	0,409

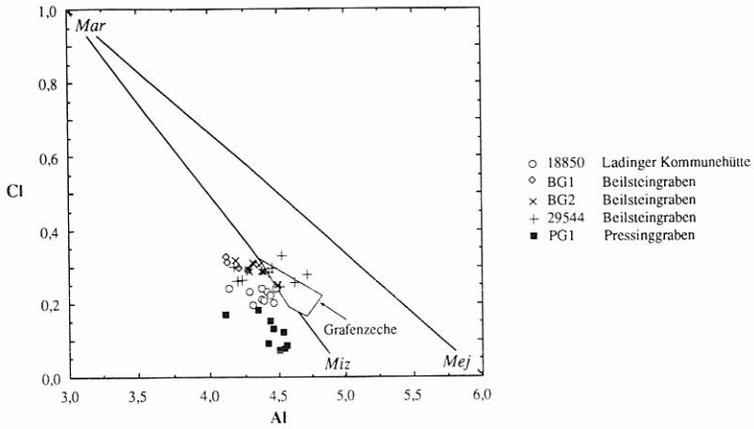


Abb. 2a

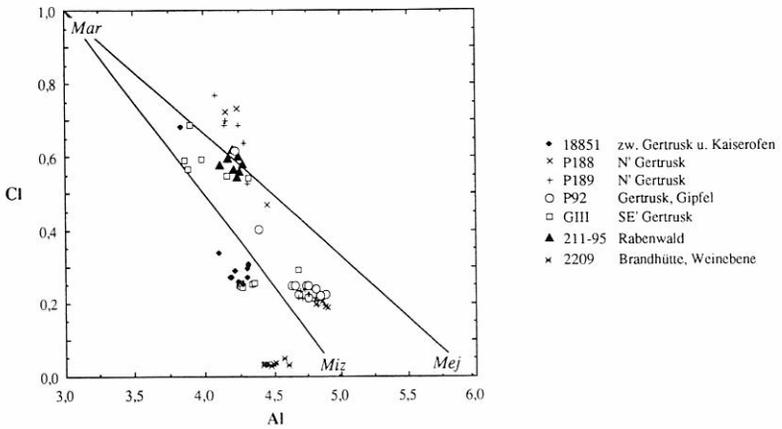


Abb. 2b

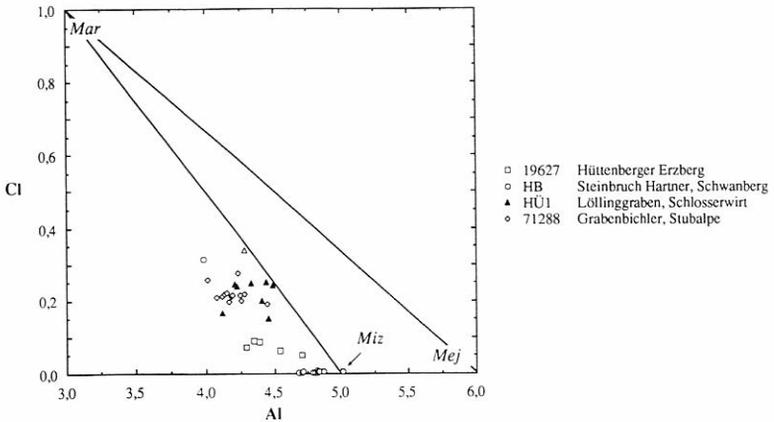


Abb. 2c

Abb. 2: Al vs. Cl-Diagramm zur Darstellung der mineralchemischen Zusammensetzung und der Mischkristallbildungen der untersuchten Skapolithe. a. Vorkommen in Ca-führenden Metapeliten; Daten von der „Grafenzeche“ (Feld, gerastert) nach HÖGELSBERGER & RAITH (1994); b. Vorkommen in Eklogiten und anderen Metabasiten; c. Vorkommen in kalksilikatischen Paragenesen. *Mar* Marialith $\text{Na}_4\text{Al}_3\text{Si}_9\text{O}_{24}\text{Cl}$, *Mej* Mejonit $\text{Ca}_4\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{CO}_3$, *Miz* Mizzonit $\text{NaCa}_3\text{Al}_5\text{Si}_7\text{O}_{24}\text{CO}_3$.

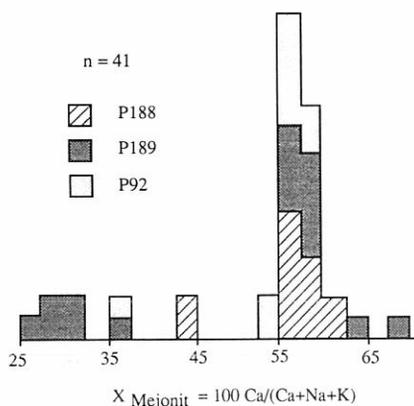


Abb. 3: Histogramm des X_{Mejonit} -Wertes (X_{Me}) von Skapolith aus eklogitischen Nebengesteinen. Die Proben stammen aus dem Gipfelbereich des Gertrusk, Saualpe. Neben Skapolithen mit einem deutlichen Maximum zwischen ca. 55 - 60, gibt es eine zweite Gruppe Marialith-reicherer Skapolithe mit X_{Me} zwischen 25 - 45.

Diskussion

Die bearbeiteten Vorkommen liegen alle in metamorphen Gesteinsabfolgen des ostalpinen Kristallins. Geländebeobachtungen zeigen, daß die Skapolithgesteine in Ca-führenden Metapeliten und Metabasiten (Eklogite s.l.) syn- bis spätmetamorphe Bildungen sind. Sie treten gang- bis klufförmig, oft als Skapolith-Quarzfelde, auf. Die Bildung dieser Gänge erfolgte syn- (z.B. S-parallele Gänge von der Grafenzeche; RAITH & HÖGELSBERGER, 1994) bis post-deformativ (z.B. Skapolith-Klüfte vom Gertrusk und vom Rabenwald). Auch in Gesteinen, in denen Skapolith eingeregelt ist, ist die Kristallisation von Skapolith als textuell spät einzustufen. In metapelitischen Vorkommen übersproßt Skapolith die metamorphe Peak-Paragenese und schließt Granat, Biotit, Calcit, Klinozoisit/Epidot etc. ein. In den eklogitischen Kluffparagenesen koexistiert Skapolith nie mit den Hochdruckparagenesen, für die ein coalpidisches Alter (ca. 90 Ma) und 680 °C/20 kbar nachgewiesen sind (THÖNI & MILLER, 1996). Skapolith tritt mit Quarz, Chlorit ± Epidot etc. auf und wird als retrograde Mineralbildung des metamorphen Spätstadiums eingestuft. Dieses Stadium wird mit dem retrograden Metamorphosestadium (575 °C/ 7 kbar) von THÖNI & MILLER (1996) korreliert. Auch die Fließigkeits-Einschluß-Studien zeigen, daß die Skapolithgesteine in der Saualpe im Zuge der alpidischen Tektonik der Gesteine unter amphibolitfaziellen Bedingungen entstanden sind (RAITH & HÖGELSBERGER, 1994; 1996). Die rasche Hebung der eklogitfaziellen Gesteine infolge von Krustenkollision geht mit einer intensiven Hydritisierung der fast wasserfreien Hochdruckparagenesen (i.e. Amphibolitisierung der Eklogite) Hand in Hand, wobei die metamorphen Fluide als entmischte sehr salinare CO₂-H₂O-Fluide charakterisiert sind (RAITH & HÖGELSBERGER, 1996) und die NaCl-reiche wäßrige Fluidkomponente für die Bildung von Skapolith herangezogen wurde. Dieses Fluid reagierte unter P-T-Bedingungen der Amphibolitfazies mit karbonatisch-silikatischen Nebengesteinen unter Bildung von Skapolith. Die Marialith-reicheren epitaktischen Anwachsäume um Mejonit-reichere Kerne (Proben vom Gertrusk) lassen außerdem den Rückschluß zu, daß die Fluide der metamorphen Spätphase in der Saualpe durch eine Zunahme der Na- und Cl-Gehalte charakterisiert sind. Hohe Na- und Cl-Aktivitäten im Fluid ermöglichen die Stabilisierung von Skapolith auch bei niedrigeren Temperaturen (OTERDOOM & WENK, 1983); i.e. bei Bedingungen der unteren Amphibolit- bis oberen Grünschieferfazies im Zuge der weiteren retrograden Abkühlung der Gesteine.

Die Skapolithvorkommen in kalksilikatischen Paragenesen bedürfen einer differenzierteren genetischen Betrachtung. Das bisher diskutierte metamorph-metasomatische Modell ist auf die Vorkommen vom Hüttenberger Erzberg, Löllingraben und Grabenbichler übertragbar. Auch hier läßt sich nachweisen, daß Skapolith spät gebildet ist. Einerseits tritt er in Klüften in Kalksilikat-Marmo-

ren auf (HÜ 1), andererseits kristallisiert Skapolith nach Calcit, Tremolit, Klinozoisit etc. (Abb. 1c). Der verstärkte Einbau von Schwefel in Proben vom Hüttenberger Erzberg und Grabenbichler ist durch die Koexistenz von Skapolith mit Pyrit erklärbar, der offensichtlich an den skapolithbildenden Reaktionen beteiligt war. Höhere S- und Cl-Gehalte in diesen beiden Proben sind daher kein zwingendes Argument für die Beteiligung von Evaporiten oder evaporitischen Lösungen.

Eine Ausnahme stellen die Proben vom Steinbruch Hartner, Schwanberg, dar. Der grobkörnige Cl-freie Skapolith, der hier in einer kalksilikatischen Paragenese auftritt, ist eindeutig Teil der metamorphen Peak-Paragenese. Die bereichsweise Anreicherung von sehr grobkörnigem Plagioklas, Alkalifeldspat und Quarz und die späte Kristallisation von Turmalin lassen die Beteiligung pegmatitischen Materials vermuten. Es wäre denkbar, daß dieses Vorkommen genetisch mit magmatisch-metasomatischen von Pegmatiten abzuleitenden Restschmelzen/Restfluiden in Beziehung steht, eine genetische Deutung, die bereits MEIXNER (1939) gegeben hat. Auch die spätmetamorphe synkinematische Überprägung dieses Vorkommens unterscheidet es von den übrigen. Die Alterationsparagenese ist skapolithfrei und wird von Klinozoisit - Calcit - Hellglimmer - Albit dominiert. Dies weist auf Alteration durch H₂O-reiche aber Cl-arme Fluide hin. Für die meisten anderen Vorkommen hingegen läßt sich nachweisen, daß die Fluidzusammensetzung während der Abkühlung der Gesteine Cl-reicher wurde.

Appendix 1: Probenliste-Skapolithgesteine

BG1-3	Skapolith-Quarzfels, Beilsteingraben, Saualpe, Ktn.; G. Weißensteiner
GIII	Skapolith mit Quarz; Gertrusk „III“, SE Gipfel, 100-150 m in E' Kar, Ktn.; G. Weißensteiner
HB4-8	Skapolith in Kalksilikatmarmor, Steinbruch Hartner, Schwanberg, Stmk.; G. Weißensteiner
HÜ1	Skapolith in Kluft im Silikatmarmor, Steinbruch Löllinggraben, Nähe Schlosswirt, Ktn.; H. Neinavaia
PG1	Skapolith-Quarzfels mit Biotit am Salband; Pressinggraben, Scherbartl, Stmk.; G. Weißensteiner, 11.5.1972

Proben des Landesmuseums Joanneum

LMJ 29.544	Skapolith-Quarzfels; Beilsteingraben, Saualpe, Ktn.; Sammlung Philippek
LMJ 71.288	Skapolithfels mit Biotit; Grabenbichler, Gößnitzwinkel, Stubalpe, Stmk.; 1988
LMJ 72.209	Skapolith mit Biotit in amphibolitisiertem Eklogit; Lithium-Bergbau Brandrücken, Weinebene, Ktn.; 1989
LMJ 211-95	(=RW1-2) Skapolith in Klüftchen in Hornblendit; Talk-Bergbau Rabenwald, Tagbau Wiedenhofer, Stmk.; W. Kogler, 1995
LMJ 225-96	(=HB1-3) Skapolith in Kalksilikatmarmor, Steinbruch Hartner, Schwanberg, Stmk., W. Postl, 8.8.1996

Proben des Landesmuseums für Kärnten

LMK 19.625	Skapolith mit Pyrit; Gossen, Hüttenberger Erzberg, Ktn.; H. Meixner, 1960
LMK 19.627	Skapolith in Phlogopit-Tremolitmarmor, östlich Albertssole Hauptlager, Hangquerverschlag bis 300 m, Hüttenberger Erzberg, Ktn.; Matz, 26.9.1949, (ehemalige Werksammlung Hüttenberg Nr. 689)
LMK 19.633	Pseudomorphosen von Karbonat und Thomsonit (?) nach Skapolith in Kalksilikatmarmor, Heinrichssole, Gossenerstrecke, Hüttenberger Erzberg, Ktn.; H. Meixner, November 1949 (ehemalige Werkssammlung Hüttenberg Nr. 695)
LMK 18.850	Skapolith-Quarzfels; ca. 200 m unter der Ladinger Kommune-Hütte, Saualpe, Ktn.; Valentin Leitner
LMK 18.851	Skapolith-Quarzfels mit Azurit; Rand eines Pegmatitganges im Eklogit, Satteltiefstes zwischen Gertrusk und Kaiserofen, Saualpe, Ktn.; G. Weißensteiner, August 1961

LMK 18.692 Skapolith-Quarzfels mit Chlorit; HESPA-Güterweg (Abzweigung in das Revier Rassing), Siebenbrunn, Pressinggraben, Koralpe, Ktn.: 1405 m SH, H. Meixner, 1966

Danksagung

Für die Bereitstellung von Sammlungsmaterial bedanke ich mich herzlichst bei Dr. W. POSTL (Landesmuseum Joanneum, Graz), Dr. F. H. UCIK (Landesmuseum für Kärnten, Klagenfurt), Dr. H. NEINAVAI (Leoben) und G. WEISSENSTEINER (Deutschlandsberg). H. MÜHLHANS entwickelte die Fotos und unterstützte mich freundlicherweise bei der EMS-Analytik.

Literatur

- BAYLISS, P. (1987): Mineral nomenclature: scapolite. - *Min. Mag.*, 51: 176.
- DEER, W. A., HOWIE, R. A. & ZUSSMAN, J. (1992): An introduction to the rock-forming minerals. 2nd ed. - Longman Scientific & Technical, 696 pp.
- EVANS, B. W., SHAW, D. S. & HAUGHTON, D. R. (1969): Scapolite stoichiometry. - *Contrib. Mineral. Petrol.*, 24: 293-305.
- GOLDSMITH, J. R. (1976): Scapolites, granulites and volatiles in the lower crust. - *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 87: 161-168.
- GÓMEZ-PUGNAIRE, M. T., FRANZ, G. & SÁNCHEZ-VIZCAINO, V. L. (1994): Retrograde formation of NaCl-scapolite in high pressure metaevaporites from the Cordilleras Béticas (Spain). - *Contrib. Mineral. Petrol.*, 116: 448-461.
- HARLEY, S. L., FITZSIMONS, I. C. W. & BUICK, I. S. (1994): Reactions and textures in wollastonite-scapolite granulites and their significance for pressure-temperature-fluid histories of high-grade terranes. - *Pre-camb. Res.*, 66: 309-323.
- HASSAN, I. & BUSECK, P. R. (1988): HRTEM characterization of scapolite solid solutions. - *Amer. Mineral.*, 73: 119-134.
- MEIXNER, H. (1939): Eine Karbonatskapolithparagenese vom Typus Pargas aus dem Sulmtal bei Schwanberg, Steiermark. - *Annalen Naturhist. Mus. Wien*, 50: 672-689.
- MOECHER, D. P. (1993): Scapolite phase equilibria and carbon isotopes: constraints on the nature and distribution of CO₂ in the lower continental crust. - *Chem. Geol.*, 108: 163-174.
- NIEDERMAYR, G., BOJAR H.-P., BRANDSTÄTTER, F., HAMMER, V. M. F., MOSER, B., POSTL, W. & TAUCHER, J. (1996): Neue Mineralfunde aus Österreich XLV. - *Carinthia II*, 186/106: 111-151.
- NIEDERMAYR, G., BRANDSTÄTTER, F., KIRCHNER, E., MOSER, B. & POSTL, W. (1989): Neue Mineralfunde aus Österreich XXXVIII. - *Carinthia II*, 179/99: 231-268.
- NIEDERMAYR, G., BRANDSTÄTTER, F., MOSER, B., POSTL, W. & TAUCHER, J. (1991): Neue Mineralfunde aus Österreich XL. - *Carinthia II*, 181/101: 147-179.
- OLIVER, N. H., WALL, V. J. & CARTWRIGHT, I. (1992): Internal control of fluid composition in amphibolite-facies scapolitic calc-silicates, Mary Kathleen, Australia. - *Contrib. Mineral. Petrol.*, 111: 94-112.
- OTERDOOM, W. H. & WENK H.-R. (1983): Ordering and composition of scapolite: field observations and structural interpretations. - *Contrib. Mineral. Petrol.*, 83: 330-341.
- RAITH, J. G. & HÖGELSBERGER, H. (1994): Fluidentwicklung und Skapolithbildung in metamorphen Gesteinen der Saualpe. - *Mitt. Österr. Miner. Ges.*, 139: 169-183.
- RAITH, J. G. & HÖGELSBERGER, H. (1996): Scapolite rocks from the Saualpe, Austria - a monitor of fluid composition during metamorphism., *J. Conf. Abstracts*, 1: 493, V. M. Goldschmidt Conference, 31 March - 4 April 1996, Heidelberg.
- SHAW, D. M. (1960): The geochemistry of scapolite. I. Previous work and general mineralogy. - *J. Petrol.*, 1: 218-260.
- TEERTSTRA D. K. & SHERRIFF B. L. (1997): Substitutional mechanisms, compositional trends and the end member formulae of scapolite. - *Chem. Geol.*, 135: 233-260.
- THÖNI, M. & MILLER, CH. (1996): Garnet Sm-Nd data from the Saualpe and the Koralpe (Eastern Alps, Austria): chronological and P-T constraints on the thermal and tectonic history. - *J. Metamorphic Geol.*, 14: 453-466.

Anschrift des Verfassers:
Dr. Johann G. RAITH
Institut für Geowissenschaften
Montanuniversität Leoben
Peter Tunnerstraße 5
A-8700 Leoben, Österreich
email: raith@unileoben.ac.at

ZOBODAT - 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): Raith Johann G.

Artikel/Article: [Petrographie und Mineralchemie von Skapolith aus dem Kristallin östlich der Hohen Tauern 23-38](#)