

Minerale eines Si- und Al-reichen Xenoliths aus dem Basaltsteinbruch von Klöch, Nördlicher Bruch, (Steiermark, Österreich)

Von Josef TAUCHER* und Christine Elisabeth HOLLERER**
Mit 21 Abbildungen und 4 Tabellen

Angenommen am 10. August 1998

Summary: Minerals from a Si- and Al-rich xenolith from the Basaltquarry Klöch, northern quarry (Styria, Austria). – Two pyrometamorphic and slightly hydrothermal transformed xenoliths (K1) and (K2) from the Basaltbruch Klöch, northern quarry, Klöcher Klause, Styria, Austria, were investigated. The xenoliths consist mixed crystals of cordierite/sekaninaite, hercynite, Fe-rich armalcolite, ilmenite, rutile, magnetite, pyrrhotite, pyrite, ferrosilite, nontronite, halloysite, sanidine, xenotime, zircon, monazite-(Ce) (cheralite), quartz, opal-CT and glass. In the glass are unknown Al_2SiO_5 -minerals (sillimanite/mullite, andalusite?) documented. It is conspicuous that the investigated xenoliths show high amounts of Fe-mineral phases. The presence of Fe-rich armalcolite as well as ilmenite and TiO_2 in both of the xenoliths suggest a heating temperature higher than $1140^\circ C$, whereby with decrease in temperature below $1140^\circ C$ $FeTi_2O_5$ changes to ilmenite and TiO_2 .

Zusammenfassung: Zwei pyrometamorph und im geringen Umfang auch hydrothermal veränderte Xenolithe (K1) und (K2) aus dem Nördlichen Bruch, Steinbruch Klöch, werden untersucht. Diese führen Mischkristalle von Cordierit/Sekaninait, Hercynit, Fe-reichen Armalcolit, Ilmenit, Rutil, Magnetit, Pyrrhotin, Pyrit, Ferrosilit, Nontronit, Halloysit, Sanidin, Xenotim, Zirkon, Monazit-(Ce) (Cheralith), Quarz, Opal-CT und Glas sowie nicht näher bestimmte Al_2SiO_5 Mineralphasen. Auffallend ist der hohe Anteil an Fe-Mineralphasen in den untersuchten Xenolithen. Durch die Anwesenheit von Fe-reichem Armalcolit sowie Ilmenit und TiO_2 in den beiden Xenolithen kann auf eine Aufheizungstemperatur durch das Magma von über $1140^\circ C$ geschlossen werden, wobei beim Absinken der Temperatur unter $1140^\circ C$ $FeTi_2O_5$ in Ilmenit und TiO_2 zerfallen ist.

1. Einleitung

Die Fremdgesteinseinschlüsse (Xenolithe) aus dem Steinbruch von Klöch sind nur sehr selten näher untersucht worden. HERITSCH 1964 nennt granitische Gesteine, die teilweise zu Glas aufgeschmolzen sind. DIETRICH & POULTIDIS 1985 bearbeiteten Ultrabasite aus dem Steinbruch. HERITSCH 1990 beschreibt sehr ausführlich einen Ca-reichen Xenolith.

Die hier näher untersuchten Xenolithe (K1 und K2) stellen einen Xenolithyp dar, der in Klöch sehr häufig auftritt. Sie zeigen einen mehr oder weniger lagigen Aufbau von weiß, grauschwarz-grünlichen und deutlich violettrosa gefärbten, unterschiedlich dicken Schichten, die reichlich mit kleinen Poren durchsetzt sind. Diese Xenolithe weisen Durchmesser von wenigen Zentimetern bis Kopfgröße auf. Aus einem solchen Xenolith wurde Cordierit beschrieben (POSTL & al. 1996).

1.1 Untersuchungsmethoden

Ungefähr senkrecht zur Schichtung der Xenolithe wurden von zwei makroskopisch gleich erscheinenden Fremdgesteinseinschlüssen (K1 und K2) je vier polierte Schriffe angefertigt, die rasterelektronenmikroskopisch, auflicht- und durchlichtmikroskopisch

* Referat für Mineralogie, Steiermärkisches Landesmuseum Joanneum, Raubergasse 10, A-8010 Graz.

** Institut für Mineralogie-Kristallographie und Petrologie, Karl-Franzens-Universität, Universitätsplatz 2, A-8010 Graz.



Abb. 1: Glas mit perlitischer Struktur mit Al-reichen Mineralphasen (schmale graue Lagen) sowie Quarz; Steinbruch Klöch, Nördlicher Bruch, Klöcher Klause, Steiermark. REM-Foto: BSE-Bild. Bildbreite: 1 mm.
Glass with perlitic structure with Al-rich mineral phases (thin grey layers) and quartz; Basalt-quarry Klöch, northern quarry, Klöcher Klause, Styria. BSE-image. Image width: 1 mm.

untersucht wurden. Weiters wurden Röntgendiffraktometeraufnahmen am Diffraktometer D500 der Firma Siemens, $\text{CuK}\alpha$ -Strahlung, Pulverpräparate, Glsträger, 0.05° steps, 1.0, 3.0 seconds/step im Referat für Mineralogie am Steiermärkischen Landesmuseum Joanneum angefertigt. Rö: 23677, 23678, 24206, 24207, 24208, 24209.

Die rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen wurden am Rasterelektronenmikroskop der Firma JEOL, JSM-6310, mit energie- und wellenlängendispersivem Analysensystem Link, Isis, des Institutes für Mineralogie-Kristallographie und Petrologie der Universität Graz durchgeführt. Meßbedingungen: 15 kV Beschleunigungsspannung und 2 nA Probenstrom auf Al; ZAF-Korrektur; Kohlenstoffbedampfung.

Standards: Na:Albit (Freeborn); K:Adular; Mg:Granat; Mg-Chromit (Ridley); Al:Albit (Freeborn), Granat; Si:Albit (Freeborn), Titanit; Ti:Titanit; Mn:Tephroit (Antarktis) G.Kurat; Fe:Chromit (53-IN-8), Pyrit (Elba); Cr:Chromit (53-IN-8); Ca:Titanit.

2. Ergebnisse

Der Xenolith mit der Bezeichnung (K1) zeigt eine feine Schichtung aus unterschiedlich gefärbten, dicken Lagen, die teilweise sehr porös sind. Die hellen Lagen bestehen röntgenographisch vorwiegend aus Quarz und Sanidin. Die dunklen, grau und violett gefärbten Lagen führen Mischkristalle von Cordierit/Sekaninait, sowie Hercynit, Ilmenit, Fe-reichen Armalcolit, Rutil, Pyrrhotin und verschiedene Akzessorien. Die Quarzlagen sind stark angeschmolzen und von Glas umgeben, welches beinahe den Chemismus



Abb. 2: Sanidin mit Cordierit/Sekananit, Hercynit und Nontronit im Glas; Steinbruch Klöch, Nördlicher Bruch, Klöcher Klause, Steiermark. + Polarisatoren. Bildbreite: 2,5 mm.
Sanidine with cordierite/sekananite, hercynite and nontronite in glass; Basaltquarry Klöch, northern quarry, Klöcher Klause, Styria. Crossed polars. Image width: 2,5 mm.

eines Kalifeldspates aufweist. Das Glas zeigt eine perlitische Struktur (Abb. 1). In dem Glas schwimmen Cordieritaggregate mit Hercynit, ebenfalls in lagiger Anordnung. Einige der kugeligen Glasgebilde sind besonders Al-reich. Röntgenographisch ist manchmal Sanidin nachweisbar (Abb. 2).

In den violett gefärbten Bereichen ist ebenfalls reichlich Glas zu finden, welches chemisch ebenfalls beinahe die Zusammensetzung eines Kalifeldspates aufweist. Röntgenographisch ist jedoch in den violett gefärbten Lagen selten Feldspat nachweisbar. Der Chemismus des Glases ist der Tab. 4 zu entnehmen. In den Al- und Si-reichen, mehr oder weniger kugeligen Gebilden innerhalb des Glases schwimmen sowohl stäbchenartige, bis ungefähr 10 μm lange aber nur maximal wenige mm breite Kristalle, die auch Kristallaggregate bilden, als auch blockig gedrungene Kristalle (Abb. 3), deren Chemismus nahezu einem Al_2SiO_5 -Mineral entspricht. Die chemischen Analysen ergaben (in Gew%) 63,76 Al_2O_3 , 31,31 SiO_2 und 0,73 K_2O , was wahrscheinlich auf die geringe Größe der Aggregate zurückzuführen ist. Die Analysen weisen einen zu hohen Gehalt an Al_2O_3 und einen zu niedrigen SiO_2 -Gehalt aus. Die Anwesenheit von Sillimanit und/oder Mullit oder auch Andalusit ist denkbar, da erstens das Ausgangsgestein dieser Xenolithe mit hoher Wahrscheinlichkeit ein granitisches Gestein (Gneis?) war und zweitens Sillimanit und Mullit über 1000°C mischbar sind. Mit diesen nicht eindeutig identifizierten Mineralphasen schwimmen im Glas noch idiomorphe Korundkristalle (Abb. 4). Der überhöhte Al-Gehalt im Glas ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen. Korund konnte in derartigen Xenolithen bereits mehrmals nachgewiesen werden (TAUCHER & al. 1989; HERITSCH 1990). Ebenso ist Mullit aus Si und Al-reichen Xenolithen von Klöch bekannt (POSTL & al. 1996). Röntgenographisch konnten in den bis 1 cm dicken Lagen jedoch weder Sillimanit, Mullit noch Korund nachgewiesen werden. Cordierit und Hercynit treten darin jedoch massiert auf.



Abb. 3: Blockige und stäbchenartige Kristalle und Aggregate von Al_2SiO_5 -Mineralphasen mit Hercynit im Glas; Steinbruch Klöch, Nördlicher Bruch, Klöcher Klause, Steiermark. REM-Foto: BSE-Bild. Bildbreite: 0,003 mm.

Al_2SiO_5 - mineral phases in block-like and rod-shaped crystals and aggregates with hercynite in glass. Basaltquarry Klöch, northern quarry, Klöcher Klause, Styria. BSE-image. Image width: 0,003 mm.

Cordierit bildet wolkenartige Gebilde und Lagen aus miteinander verwachsenen, bis maximal 0,02 mm großen Kristallen, die in der glasigen Grundmasse schwimmen (Abb. 5). Auch gerundete Strukturen innerhalb des Glases bestehen aus Cordierit mit Hercynit. Es konnten drei unterschiedliche Chemismen an den Cordieritkristallen festgestellt werden, wobei generell Cordierit/Sekaniinit-Mischkristalle vorkommen.

Der Großteil der Cordierit/Sekaniinitkristalle entspricht dem Typ (C1) der Tab. 2. Diese zeigen eine einfache morphologische Entwicklung, sind im Durchschnitt rund 20 μm groß und bilden regellos miteinander verwachsene Aggregate. Die Cordierit/Sekaniinitkristalle umwachsen immer Hercynitkristalle, mit denen die Cordierit/Sekaniinitkristalle myrmekitartig verwachsen sind (Abb. 6). Diese Cordierit/Sekaniinitkristalle zeigen eine dominierende Cordieritkomponente von 68 Mol%. Daneben weisen Analysen jedoch auch Bereiche aus, die schwach Sekaniinit-dominiert sind, was vielleicht auf eine Zonierung oder Sektionierung der Cordieritkristalle hinweist. Diese Cordierit/Sekaniinitkristalle weisen geringe Na- und K-Gehalte sowie Spuren von Mn auf. Die chemische Analyse ist der Tab. 2 zu entnehmen. Neben den Cordierit/Sekaniinitkristallen (C1) treten deutlich größere, bis maximal 0,3 mm große, morphologisch ausgezeichnet entwickelte Cordierit/Sekaniinitkristalle innerhalb des Glases auf, die einen etwas abweichenden Chemismus aufweisen, (C2) der Tab. 2. Auffallenderweise sind in ihnen keine Hercynitkristalle eingewachsen (Abb. 7). Chemische Analysen weisen keinen (mit dieser

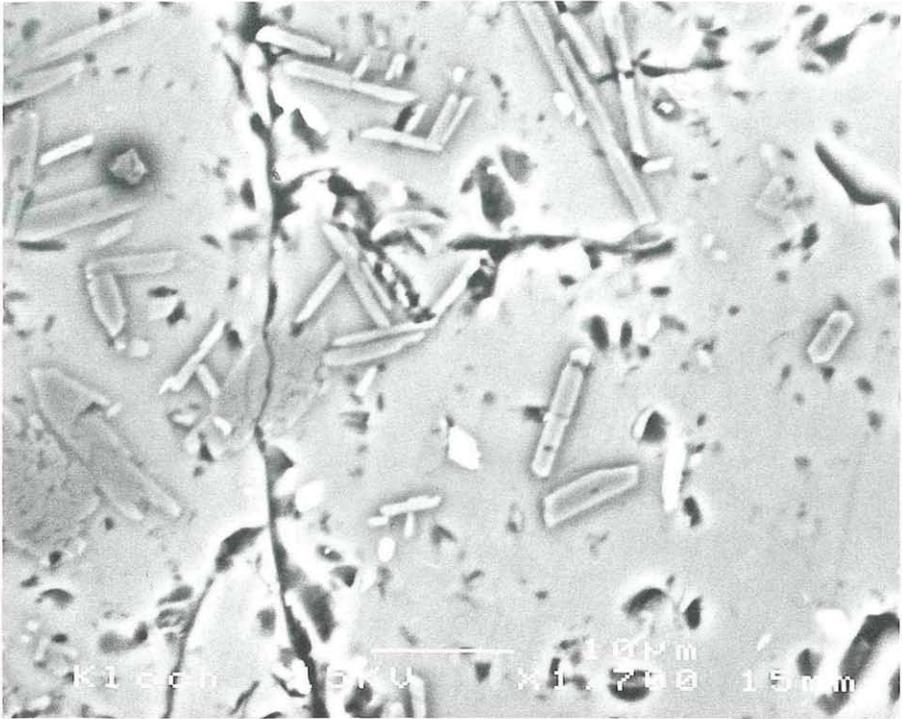


Abb. 4: Korund in gelängten hexagonalen Kristallen mit stäbchenartigen Kristallen (Sillimanit/Mullit?) und blockigen Kristallen (Andalusit?) im Glas; Steinbruch Klöch, Nördlicher Bruch, Klöcher Klause, Steiermark. REM-Foto: BSE-Bild. Bildbreite: 0,07 mm.
Hexagonal, elongated corundum crystals with rod-shaped crystals of sillimanite/mullite? and block-like crystals (andalusite?) in glass; Basaltquarry Klöch, northern quarry, Klöcher Klause, Styria. BSE-image. Image width: 0,07 mm.

Methode meßbaren) Na-Gehalt, jedoch ebenfalls K- und Mn-Gehalte auf. Das Verhältnis Cordierit:Sekaninait ist nahezu genau 1:1.

Der optische Charakter der Cordierit/Sekaninaitkristalle ist optisch zweiachsig positiv.

Hercynit tritt einerseits innerhalb von Cordierit/Sekaninaitkristallen vom Typ (C1) auf und ist gleichzeitig mit den Cordierit/Sekaninaitkristallen entstanden. Er zeigt keinerlei morphologische Formen und ist myrmekitartig mit Cordierit/Sekaninait verwachsen (Abb. 6). Außerhalb der Cordierit/Sekaninaitkristalle ist Hercynit morphologisch ausgezeichnet entwickelt und bildet idiomorphe Kristalle, wobei der Oktaeder {111} vorherrscht (Abb. 8) und die Hercynitkristalle manchmal nach [111] gestreckt sind. Chemisch sind die Hercynitkristalle außerhalb und innerhalb der Cordierit/Sekaninaitkristalle identisch. Die chemische Analyse ist der Tab. 1 zu entnehmen.

Mit Hercynit verwachsen konnte tropfenförmiger Zirkon beobachtet werden (Abb. 8).

Ilmenit tritt im Xenolith sehr häufig auf und bildet meist undeutlich entwickelte, gerundete Kristalle, die miteinander verwachsen sind. An wenigen μm großen Kristallen sind auch morphologische Formen erkennbar. Oft ist eine Verwachsung mit meist gedrungenen Rutilkristallen, die Spuren von Fe aufweisen, zu beobachten (Abb. 9). Ilmenit weist eine Pyrophanitkomponente von 2 Mol% und eine Geikielitkomponente von 6 Mol% auf. An einigen Ilmenitaggregaten konnten noch geringe Al- und Cr-Gehalte festgestellt werden. Umwachsungen von Ilmenit durch Ferrosilit treten ebenfalls

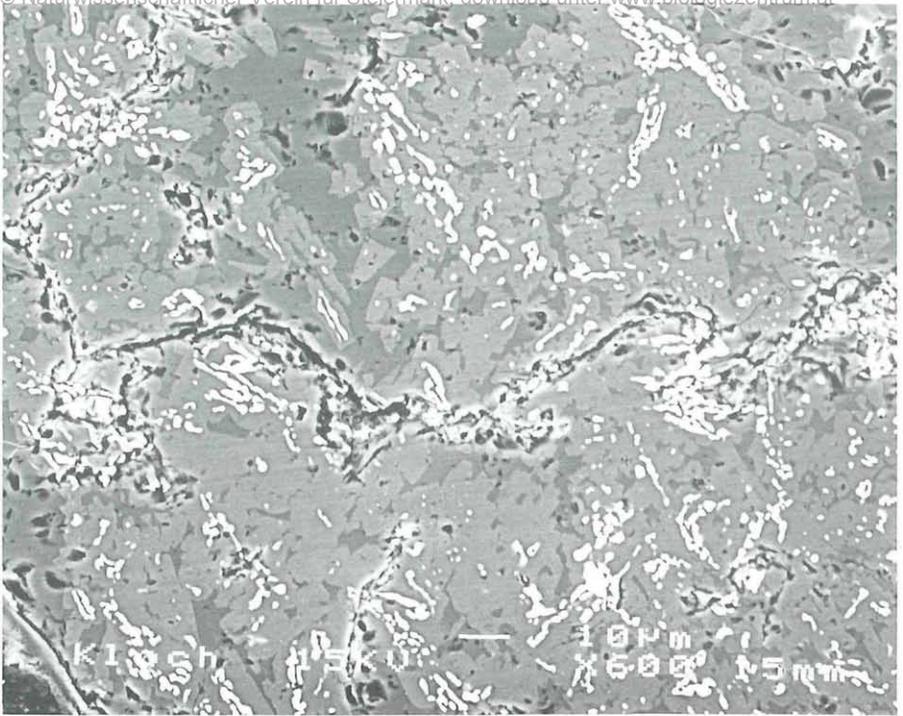


Abb. 5: Hercynit myrmekitartig mit Cordierit/Sekaninait verwachsen im Glas; Steinbruch Klöch, Nördlicher Bruch, Klöcher Klause, Steiermark. REM-Foto: BSE-Bild. Bildbreite: 0,2 mm. Myrmecitic intergrowth of hercynite with cordierite/sekaninaite in glass; Basaltquarry Klöch, northern quarry, Klöcher Klause, Styria. BSE-image. Image width: 0,2 mm.

auf. Weiters sind Verwachsungen von Ilmenit und Rutil mit Armalcolit zu erkennen. Einmal konnte Xenotim im Ilmenit identifiziert werden. Der Chemismus ist aus der Tab. 2 zu ersehen.

Eine weitere Ti-Fe-Mineralphase in dem Xenolith ist Armalcolit (Mg,Fe^{+2}) Ti_2O_5 . Dieses, dem Pseudobrookit ($\text{Fe}^{+2},\text{Fe}^{+3}$) $_2(\text{Ti,Fe}^{+3})\text{O}_5$ ähnliche Mineral, wurde von ANDERSON & al. 1970 in maximal 300 μm großen Körnern mit Ilmenit aus Mondgestein beschrieben. Nach FLEISCHER 1970 hat Armalcolit ein Mg:Fe-Verhältnis von 1:1. In den angegebenen Analysen schwankt das Mg/Fe-Verhältnis zwischen 0,55 und 1,74. Im Xenolith (K1) von Klöch ist das beinahe „reine“ Endglied von FeTi_2O_5 zu beobachten. Das Mg:Fe-Verhältnis beträgt 0,11:1. Fe^{+2} ist offenbar im geringen Umfang als Fe^{+3} vorhanden, welches von Al^{+3} substituiert wird. In Klöch liegt somit der Fe dominierte Armalcolit vor. Mit Armalcolit konnten Ilmenit und Rutil beobachtet werden (Abb. 10). Der Chemismus ist der Tab. 3 zu entnehmen.

Magnetit ist auffallend selten und bildet bis 20 μm große Körner innerhalb von Glas und selten im Cordierit/Sekaninait, die manchmal mit Ilmenit und Rutil verwachsen sind, aber auch mit Monazit-(Ce) (Cheralith), Ilmenit und reichlich Nontronit in kleinen Poren des Glases beobachtet werden konnten (Abb. 11). Die Analysen weisen neben Fe und einem außerordentlich hohen Ti-Gehalt noch Mg, Mn, Cr und Al aus. Der Chemismus des Magnetits ist der Tab. 2 zu entnehmen.

Ferrosilit (Orthoferrosilit) bildet lattige, bis 10 μm große Kristalle im Glas sowie Umwachsungen von Ilmenit (Abb. 12). Die chemischen Analysen weisen neben Si, Al

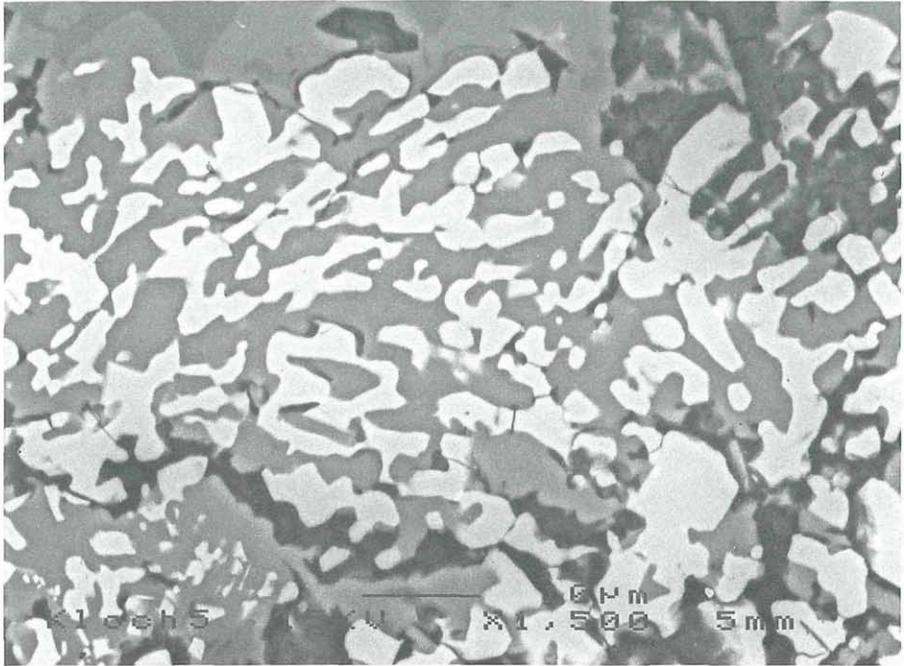


Abb. 6: Hercynit in myrmekitartiger Verwachsung mit Cordierit/Sekaninait; Steinbruch Klöch, Nördlicher Bruch, Klöcher Klause, Steiermark. REM-Foto: BSE-Bild. Bildbreite: 0,08 mm. Myrmecitic intergrowth of hercynite with cordierite/sekaninaite; Basaltquarry Klöch, northern quarry, Klöcher Klause, Styria. BSE-image. Image width: 0,08 mm.

und Fe noch Gehalte von Mg, Mn und Ti aus. Der Chemismus ist der Tab. 1 zu entnehmen.

Selten ist Pyrrhotin in bis 10 µm großen Kristallen zu beobachten, die immer von einer Limonitkruste umgeben sind.

Weiters wurde noch ein Th- und U-hältiger Monazit in linsenförmigen, bis 0,03 mm großen Kristallen gefunden. Es liegt ein Kristall der Reihe Monazit - Brabantit vor, der als Cheralit (Ca,Ce,Th)(P,Si)O₄ bezeichnet wird. Neben Ce konnten noch La und Sm festgestellt werden, Si konnte nicht gemessen werden. Cheralith ist chemisch nicht homogen (Abb. 13). Xenotim wurde als wenige mm großes Korn innerhalb von Ilmenit identifiziert.

Der Xenolith mit der Bezeichnung (K2) zeigt makroskopisch dasselbe Bild wie (K1). Er ist ebenso aus weißen und dunklen, violett gefärbten Lagen aufgebaut. Röntgenographisch konnte in den weiß gefärbten Lagen jedoch im Gegensatz zu Xenolith (K1) nur sehr selten Feldspat (Sanidin) nachgewiesen werden. Die hellen Lagen bestehen meistens aus Glas, Opal und Quarz. Das Glas entspricht chemisch wiederum einem Kalifeldspat, zeigt jedoch zum Unterschied von Xenolith (K1) auch Ca, Spuren von Fe und kein Ti. Innerhalb des Glases sind wiederum stäbchenförmige Kristalle eines Minerals zu beobachten, dessen Chemismus annähernd einem Al₂SiO₅-Mineral entspricht und radialstrahlige Aggregate bildet. Dieses ist als Lage oder in einer geschlossenen Partie innerhalb des Glases angeordnet (Abb. 14). Der Chemismus des Glases ist aus Tab. 4 zu ersehen. Im Glas sind röntgenographisch Cristobalit und Tridymit nachgewiesen, sodaß teilweise Opal-CT vorliegt. Die violett gefärbten Lagen enthalten wie im Xenolith (K1) röntgenographisch Cordierit und Hercynit.

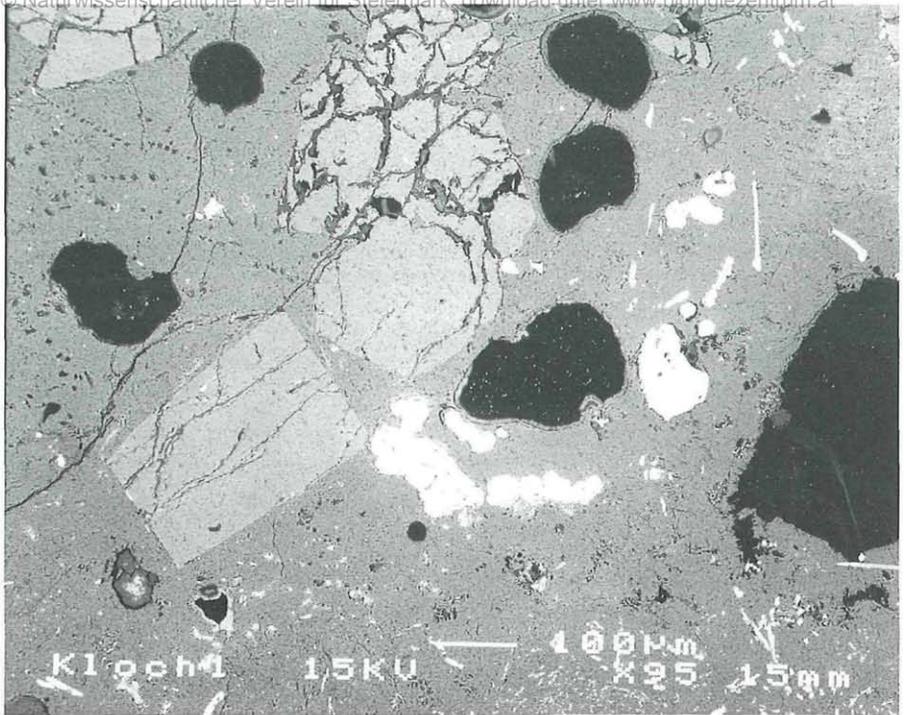


Abb. 7: Cordierit/Sekaninaitkristalle (C2) mit Ilmenit im Glas; Steinbruch Klöch, Nördlicher Bruch, Klöcher Klause, Steiermark. REM-Foto: BSE-Bild. Bildbreite: 1,1 mm.
Crystals of cordierite/sekaninaite (C2) with ilmenite in glass; Basaltquarry Klöch, northern quarry, Klöcher Klause, Styria. BSE-image. Image width: 1,1 mm.

Der Schliff zeigt den lagigen Aufbau von Quarz und Glas sehr schön (Abb. 15).

Cordierit/Sekaninait bildet, wie auch beim Xenolith (K1) teilweise morphologisch ausgezeichnet entwickelte Kristalle, die wiederum regellos miteinander zu größeren Ansammlungen verwachsen sind. Der Chemismus unterscheidet sich geringfügig von den Cordierit/Sekaninaitkristallen von Xenolith (K1). Es lassen sich wiederum zwei verschiedene Chemismen unterscheiden. Der überwiegende Teil der Cordierit/Sekaninaitkristalle entspricht dem Typ (C1) von Xenolith (K1). Die Cordieritkomponente dominiert. Typ (C2) tritt im Xenolith (K2) reichlich auf. Wie die Cordierit/Sekaninaitkristalle des Xenoliths (K1) weisen die des Xenoliths (K2) Na- und K-Gehalte sowie manchmal Spuren von Ti und Mn aus.

Ein vorerst nicht näher zuzuordnendes Mineral der Osumilith-Gruppe (?) konnte im Xenolith (K2) gefunden werden. Es ist im BSE-Bild von Cordierit/Sekaninait nicht zu unterscheiden, unterscheidet sich jedoch anhand seiner Kationensumme. Die Osumilith-Gruppe umfaßt derzeit 16 Minerale mit Kationensummen zwischen 17 und 20. In der allgemeinen Strukturformel der Milarit-(Osumilith)-Gruppe $A_2[{}^6B_2{}^9C[{}^{12}D][{}^{18}T(2)_3]{}^4T(1)_{12}{}^{4}O_{30}$ nach Forbes & al. 1972 werden von HAWTHORNE & al. 1991 die Kationenpositionen von: A = Al, Fe⁺³, Sn⁺⁴, Mg, Zr, Fe⁺², Ca, Na, Y, REE; B = Na, H₂O, □, Ca?, K?; C = K, Na, Ba, □, Ca?; D = □, ?; T(1) = Si, Al; T(2) = Li, Be, B, Mg, Al, Si, Mn⁺², Zn besetzt. Nach HAWTHORNE & al. 1991 können die Positionen A, B? und C? mit Ca besetzt sein. Auch FLEISCHER & MANDARINO 1995 geben in ihrer allgemeinen Formel für Minerale der Osumilith-Gruppe für die Kationenposition A Ca an. Das hier untersuchte Mineral

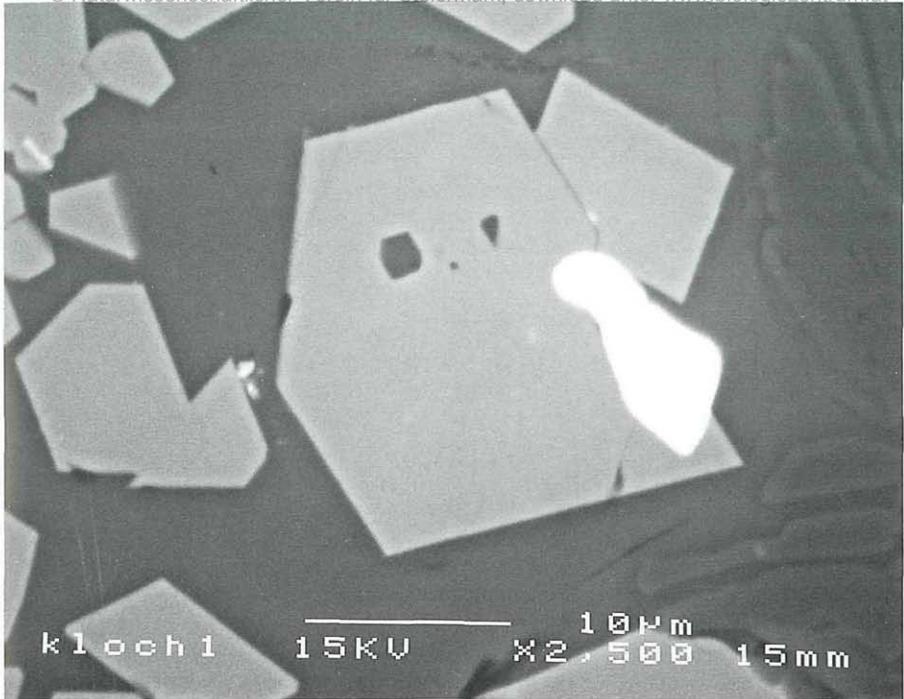


Abb. 8: Hercynitkristall mit Zirkon im Glas; Steinbruch Klöch, Nördlicher Bruch, Klöcher Klause, Steiermark. REM-Foto: BSE-Bild. Bildbreite: 0,05 mm.
Hercynite with zircon in a glassy matrix; Basaltquarry Klöch, northern quarry, Klöcher Klause, Styria. BSE-image. Image width: 0,05 mm.

enthält Ca, ist extrem Fe-reich, arm an $+1$ Kationen und weist eine Kationensumme von nahezu 19 auf (siehe Tab. 2). Der Fe-Überschuß in dem hier untersuchten Mineral ist allerdings so groß, daß auch die Positionen C und T(1) nach HAWTHORNE & al. 1991 teilweise mit Fe^{+2} oder Fe^{+3} besetzt werden müßten. Die Mineralphase ist auch im Durchlicht nicht verifizierbar und es besteht die Möglichkeit, daß es sich ebenfalls um Glas handelt.

Hercynit tritt wie in Xenolith (K1) sowohl in myrmekitartiger Verwachsung (Abb. 6) als auch in morphologisch ausgezeichnet entwickelten Kristallen im Cordierit/Sekani-nait auf. Der Chemismus ist der Tab. 1 zu entnehmen. Er entspricht nahezu den Hercynitkristallen von Xenolith (K1). Es sind jedoch höhere Fe- und Ti-Gehalte sowie Cr festzustellen.

Ferrosilit ist ebenfalls in mehreren μm großen Kristallen zu finden. Der Chemismus unterscheidet sich vom Ferrosilit aus dem Xenolith (K1) durch einen höheren Mg- und einen niedrigeren Fe-Gehalt. Der Chemismus ist aus Tab. 1 zu ersehen. Ilmenit bildet dieselben abgerundeten Aggregate, die innerhalb von Cordierit/Sekani-nait schwimmen, wie dies auch im Xenolith (K1) zu beobachten ist. Ebenso sind Verwachsungen mit Rutil zu beobachten (Abb. 16). Ilmenit weist meist dieselbe chemische Zusammensetzung wie in (K1) auf. Mit extrem Ti-reichem Magnetit im Glas konnte als Ausnahme auch Ilmenit festgestellt werden, der die übliche einfache Zusammensetzung aufweist.

Ebenso ist Armalcolit mit dem von (K1) nahezu identisch.

Neben Magnetit mit hohen Ti-Gehalten sowie Cr, Mn und Al, wie sie Xenolith (K1) zeigt, tritt auch noch Ti-freier Magnetit im Xenolith (K2) auf. Im Schliiff ist dieser

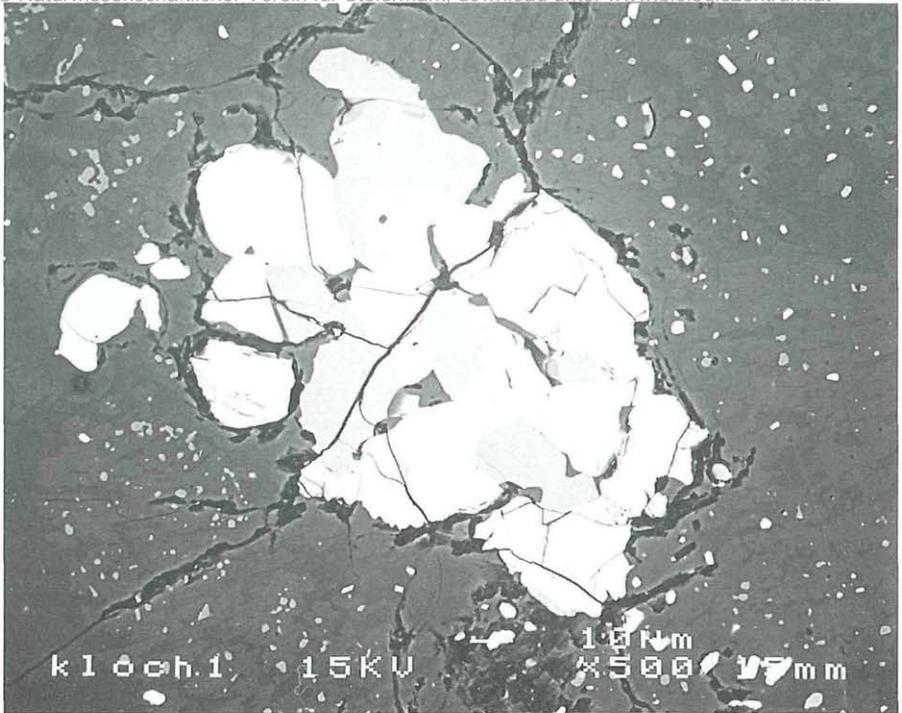


Abb. 9: Ilmenit mit gedregungenen Rutilkristallen in Cordierit/Sekaniait mit Hercynit im Glas; Steinbruch Klöcher, Nördlicher Bruch, Klöcher Klause, Steiermark. REM-Foto: BSE-Bild. Bildbreite: 0,2 mm. Ilmenite with compact crystals of rutile in cordierite/sekaninaite with hercynite in a glassy matrix; Basaltquarry Klöcher, northern quarry, Klöcher Klause, Styria. BSE-image. Image width: 0,2 mm.

Magnetit immer mit Rillen durchzogen und meist mit Nontronit und/oder Halloysit vergesellschaftet (Abb. 17). Einige Male konnte noch Pyrit neben Magnetit in wenigen μm großen, morphologisch schlecht entwickelten Kristallen beobachtet werden (Abb. 17).

Innerhalb des Glases konnte ein einziges Mal Magnetit festgestellt werden, der von einer extrem Ti-reichen Mineralphase randlich umgeben ist, die wiederum von Halloysit umgeben ist, der schmale Risse im Glas füllt (Abb. 18). Quantitative EDS-Analysen des Magnetits wiesen 32,26 Gew% TiO_2 aus. Dies sind die höchsten TiO_2 -Gehalte, die in Klöcher bis jetzt in Magnetitkristallen festgestellt werden konnten. Die Magnetitkristalle weisen eine Zonierung auf, wobei die Bereiche zwischen den Magnetitschichten Si-Gehalte aufweisen. Offenbar ist während der Kristallisation des Magnetits rhythmisch Glas zoniert eingelagert worden (Abb. 18). Um diese Magnetite konnte eine Mineralphase festgestellt werden, die neben Al, Si, K, Ca, Cr, Fe auch höhere TiO_2 -Gehalte aufweist. Der Chemismus ist der Tab. 4 zu entnehmen. Die chemische Analyse lässt sich keiner Mineralphase zuordnen und ist mit großer Wahrscheinlichkeit röntgenamorph (Glas?) (Abb. 19). Auffallend ist auch die niedrige Analysensumme. Mit diesen Mineralphasen ist Ilmenit mit der üblichen stöchiometrischen Zusammensetzung vergesellschaftet.

Weiters sind noch Monazit-(Ce) (Cheralith) und sehr häufig Zirkon zu beobachten, wobei Zirkon kleine „Wolken“ innerhalb des Glases bildet.

An „Tonmineralien“ sind Nontronit und Halloysit festzustellen, die meist blasenartige Hohlräume entweder vollständig ausfüllen oder radialstrahlig aufgebaute Krusten bilden, die diese auskleiden (Abb. 20).



Abb. 10: Armalcolit (gerundet, links unten) mit Ilmenit, Rutil, Cordierit/Sekaninait, Hercynit sowie ein Tonmineral im Blasenraum im Glas; Steinbruch Klöch, Nördlicher Bruch, Klöcher Klause, Steiermark. REM-Foto: BSE-Bild. Bildbreite: 0,08 mm.

Armalcolite (rounded, below left) with ilmenite, rutile, cordierite/sekaninaite, hercynite and a clay mineral in a cavity of glass; Basaltquarry Klöch, northern quarry, Klöcher Klause, Styria. BSE-image. Image width: 0,08 mm.

Tab. 1: Quantitative EDS-Analysen von Hercynit und Ferrosilit aus den Xenolithen (K1 und K2); Steinbruch Klöch, Nördlicher Bruch, Klöcher Klause, Steiermark.

Steinbruch Klöch, Nördlicher Bruch, Steiermark

Hercynit (K1)*		Hercynit (K2)*		Ferrosilit (K1)**		Ferrosilit (K2)**	
Gew.%	Formelkoeff.	Gew.%	Formelkoeff.	Gew.%	Formelkoeff.	Gew.%	Formelkoeff.
SiO ₂				42,68	1,80	47,59	1,91
TiO ₂	0,71	0,02	1,34	0,03	1,05	0,03	0,79
Al ₂ O ₃	57,71	1,96	55,85	1,89	6,59	0,32	3,56
Cr ₂ O ₃			0,53	0,01			
FeO	35,77	0,84	38,19	0,91	42,60	1,47	36,61
MnO	0,65	0,02	0,69	0,02	1,37	0,04	
MgO	4,02	0,17	3,42	0,14	6,13	0,35	11,23
Σ	98,86		99,84		100,42		99,78
Σ Kationen	3,01		3,00		4,00		4,00

* Basis 4 Sauerstoffe;

** Basis 6 Sauerstoffe

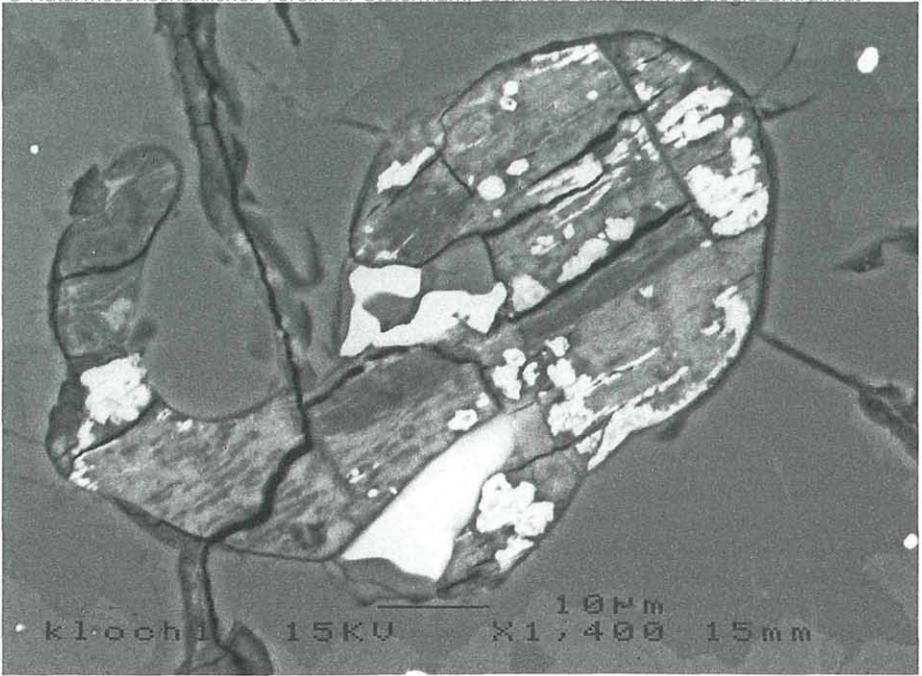


Abb. 11: Magnetit mit Ilmenit und Monazit-(Ce) (Cheralith) im Nontronit in einem Blasenhohlraum im Glas; Steinbruch Klöch, Nördlicher Bruch, Klöcher Klaus, Steiermark. REM-Foto: BSE-Bild. Bildbreite: 0,3 mm.

Magnetite with ilmenite and monazite-(Ce) (cheralite) in nontronite in a glass cavity; Basalt-quarry Klöch, northern quarry, Klöcher Klaus, Styria. BSE-image. Image width: 0,3 mm.

Tab. 2: Quantitative EDS-Analysen von Cordierit/Sekaninait-Mischkristallen sowie von einem vermutlichen Mineral der Osumilith-Gruppe aus den Xenolithen (K1 und K2), Steinbruch Klöch, Nördlicher Bruch, Klöcher Klaus, Steiermark.

Steinbruch Klöch, Nördlicher Bruch, Steiermark

	Cordierit/Sekaninait, Xenolith (K1 und K2)**				Osumilith-Mineral? (K2)*	
	(C1)		(C2)		Gew.%	Formelkoeff.
	Gew.%	Formelkoeff.	Gew.%	Formelkoeff.		
SiO ₂	48,99	5,00	47,03	4,93	50,04	10,97
Al ₂ O ₃	33,11	3,98	32,97	4,07	2,67	0,69
FeO	7,68	0,65	11,40	0,99	30,17	5,53
MnO	0,38	0,03	0,40	0,03		
MgO	9,25	1,40	6,62	1,03	2,76	0,90
CaO					1,51	0,35
Na ₂ O	0,13	0,02				
K ₂ O	0,38	0,05	0,62	0,08	1,67	0,47
Σ	99,92		99,04		88,82	18,92
Σ Kationen	11,13		11,13			
Fe/(Fe+Mg+Mn)	0,32		0,49			

* Basis 30 Sauerstoffe; ** Basis 18 Sauerstoffe

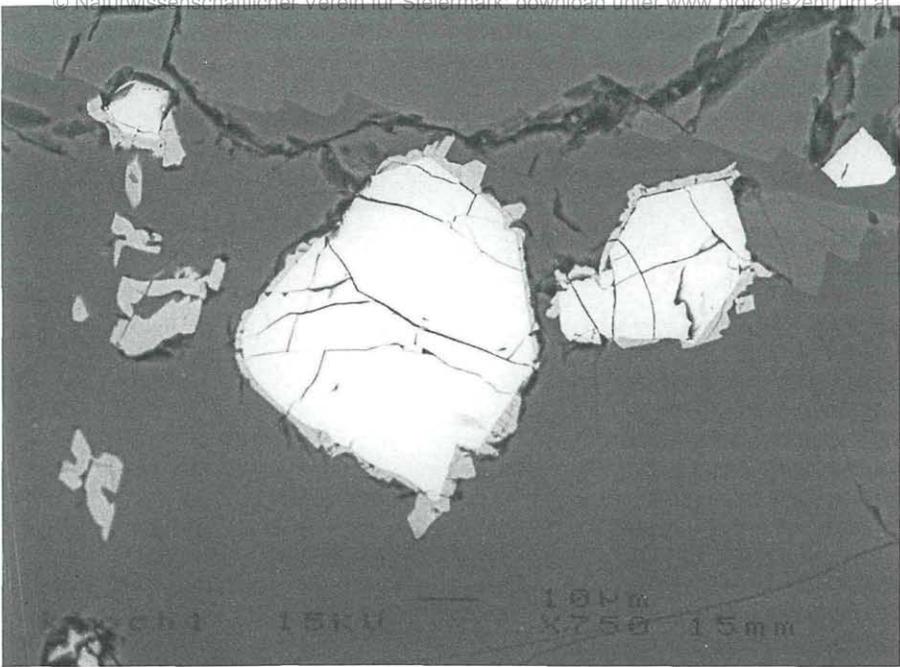


Abb. 12: Ilmenit mit Ferrosilit umwachsen gemeinsam mit Cordierit/Sekaninaït im Glas; Steinbruch Klöch, Nördlicher Bruch, Klöcher Klaus, Steiermark. REM-Foto: BSE-Bild. Bildbreite: 0,2 mm.

Ferrosilite grows around ilmenite with cordierite/sekaninaite in glass; Basaltquarry Klöch, northern quarry, Klöcher Klaus, Styria. BSE-image. Image width: 0,2 mm.

Tab. 3: Quantitative EDS-Analysen von Magnetit, Ilmenit und Armalcolit, Steinbruch Klöch, Nördlicher Bruch, Klöcher Klaus, Steiermark.

Nördlicher Bruch, Klöch, Steiermark

	Magnetit (K1)*		Ilmenit (K1)**		Armalcolit (K1)***	
	Gew.%	Formelkoeff.	Gew.%	Formelkoeff.	Gew.%	Formelkoeff.
TiO ₂	28,10	0,77	54,36	1,01	67,08	1,89
Al ₂ O ₃	6,27	0,27			4,59	0,20
Cr ₂ O ₃	0,71	0,02				
FeO	62,87	1,92	43,39	0,90	26,25	0,82
MnO	0,97	0,02	0,85	0,02		
MgO	1,11	0,06	1,70	0,06	1,61	0,09
Σ	100,03		100,30		99,53	
Σ Kationen		3,06		1,99		3,00

* Basis 4 Sauerstoffe; ** Basis 3 Sauerstoffe; *** Basis 5 Sauerstoffe

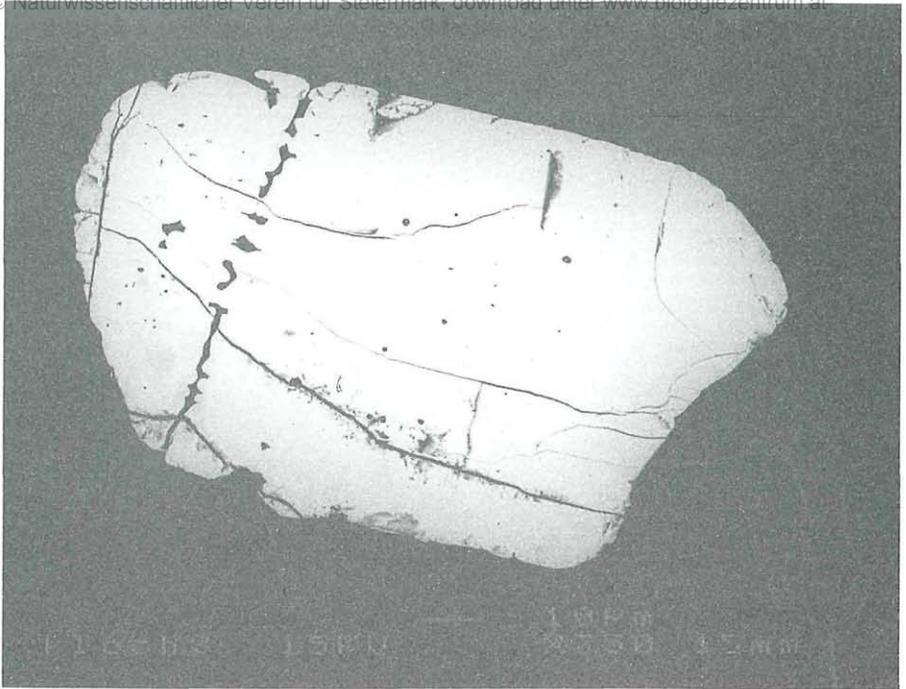


Abb. 13: Chemisch inhomogener Monazit-(Ce) (Cheralith) im Glas; Steinbruch Klöch, Nördlicher Bruch, Klöcher Klause, Steiermark. REM-Foto: BSE-Bild. Bildbreite: 0,2 mm.
 Chemical inhomogeneous monazite-(Ce) (cheralite) in glass; Basaltquarry Klöch, northern quarry, Klöcher Klause, Styria. BSE-image. Image width: 0,2 mm.

Tabelle 4: Quantitative EDS-Analysen von Glas aus den Xenolithen (K1 und K2), Steinbruch Klöch, Nördlicher Bruch, Klöcher Klause, Steiermark.

Nördlicher Bruch, Klöch			
	Glas (K1)	Glas (K2)	Glas? (K2a)
	Gew.%	Gew.%	Gew.%
SiO ₂	73,80	72,26	6,70
TiO ₂	1,03		50,15
Al ₂ O ₃	11,33	13,25	9,50
Cr ₂ O ₃			1,73
FeO	1,12		5,51
MgO			0,34
CaO		0,45	2,47
Na ₂ O	1,61	1,21	
K ₂ O	6,60	4,45	
Σ	95,49	91,62	76,40

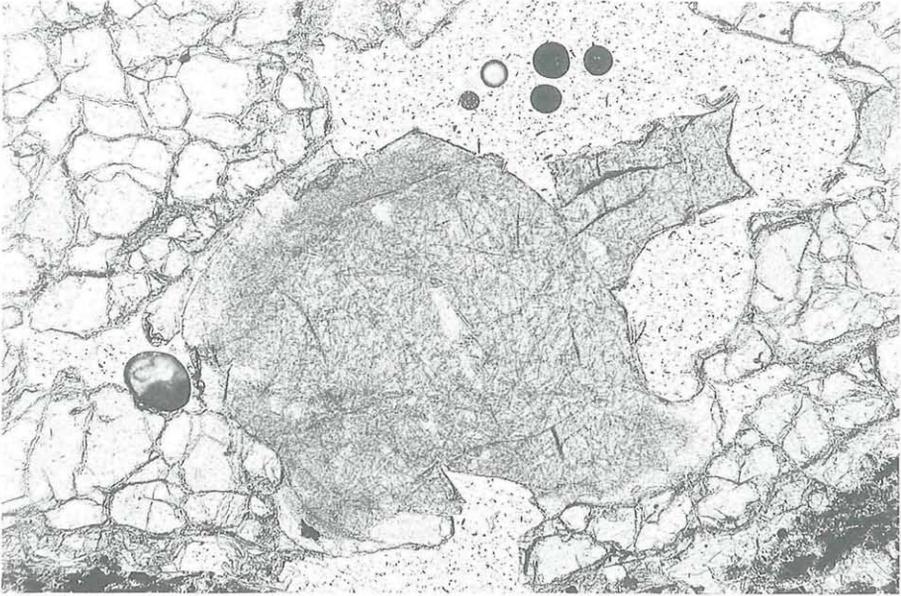


Abb. 14: Nadeliger Sillimanit/Mullit? oder Andalusit? im Glas mit Quarz; Steinbruch Klöch, Nördlicher Bruch, Klöcher Klause, Steiermark. Bildbreite: 1,25 mm.

Sillimanite/mullite or andalusite like needles with quartz in glass; Basaltquarry Klöch, northern quarry, Klöcher Klause, Styria. BSE-image. Image width: 1,25 mm.

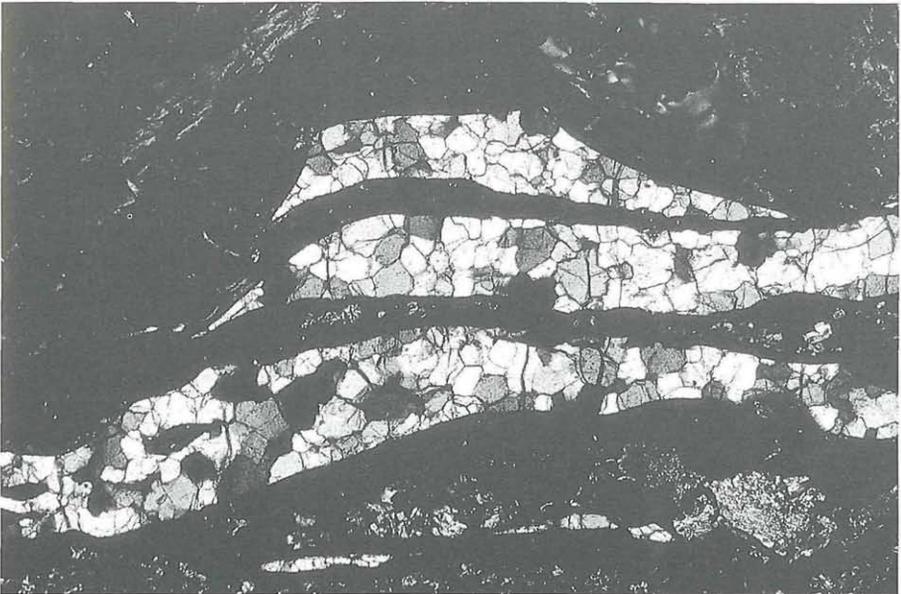


Abb. 15: Quarzlagen im Glas; Steinbruch Klöch, Nördlicher Bruch, Klöcher Klause, Steiermark. + Polarisatoren. Bildbreite: 2,5 mm.

Layers of quartz in glass; Basaltquarry Klöch, northern quarry, Klöcher Klause, Styria. Parallel polars. Image width: 2,5 mm.

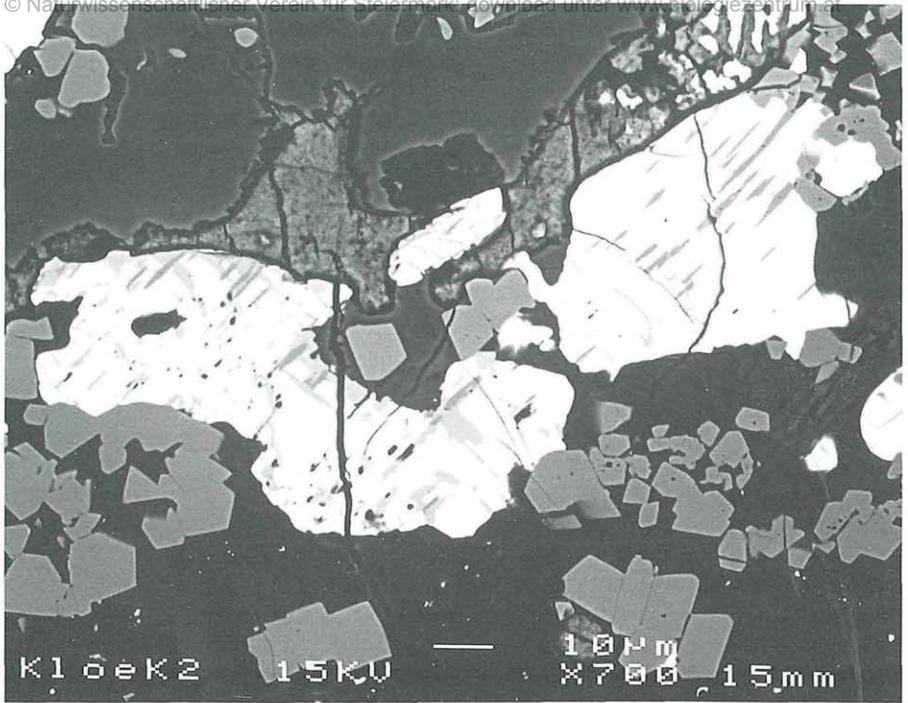


Abb. 16: Orientiert eingelagerter Rutil im Ilmenit mit Hercynit und Monazit-(Ce) (Cheralith) und Tonmineral im Glas; Steinbruch Klöch, Nördlicher Bruch, Klöcher Klause, Steiermark. REM-Foto: BSE-Bild. Bildbreite: 0,14 mm.
Oriented intergrowth of rutile with ilmenite as well as hercynite, monazite-(Ce) (cheralite) and a clay mineral in glass; Basaltquarry Klöch, northern quarry, Klöcher Klause, Styria. BSE-image. Image width: 0,14 mm.

2.2 Schlußbetrachtung

Die beiden Xenolithe (K1 und K2) zeigen makroskopisch einen nahezu identischen, lagigen Aufbau und haben ein granitisches Gestein, wahrscheinlich Gneis, als Ausgangsgestein. Der lagige Aufbau könnte auch auf einen Schiefer hinweisen, aber das Auftreten von Monazit (Cheralith) weist eher auf einen ehemaligen Granit (Gneis) hin.

Die Xenolithe sind pyrometamorph sehr stark verändert, die hydrothermale Phase tritt hingegen kaum in Erscheinung. Die mit Glas, wenig Quarz und Feldspat (Sanidin) schichtweise aufgebauten Xenolithe weisen einen hohen Aufschmelzungsgrad auf. Der Chemismus des Glases mit der annähernden Zusammensetzung eines Kalifeldspates läßt einen aufgeschmolzenen Feldspat oder/und Glimmer vermuten. Die Anwesenheit von Ti und Fe im Glas des Xenolithes (K1) legt die Vermutung eines ehemaligen Glimmers (Biotit?) sehr nahe. Hingegen weist das Glas von Xenolith (K2) nur Spuren von Fe auf, zeigt jedoch deutliche Gehalte an Ca. Hier lag offenbar ein Feldspat vor. Der Überschuß an Si und die niedrigen Analysensummen zeigen auch die Anwesenheit von Opal in den Gläsern. Der Opal weist stellenweise Cristobalit und Tridymit auf. Innerhalb des Glases in ganzen Lagen (Abb. 1) oder in eng begrenzten, mehr oder weniger kugeligen Gebilden können sowohl nadelige Kristalle, welche radialstrahlige Aggregate bilden (Abb. 14) als auch gedrungene Kristalle beobachtet werden, die möglicherweise Sillimanit/Mullit und/

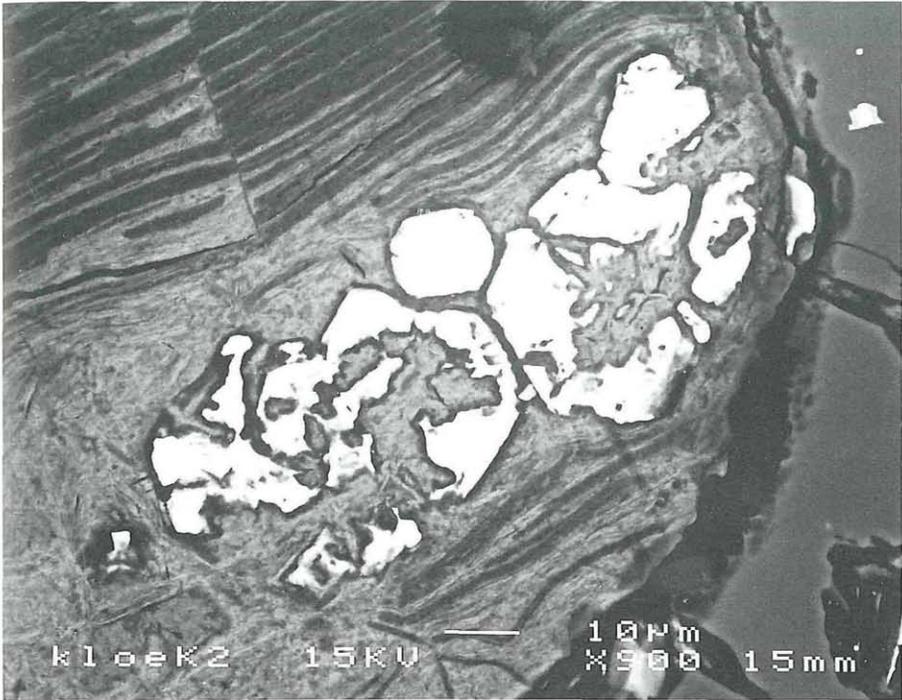


Abb. 17: Reliktischer Magnetit mit Pyrit im Nontronit einer Blasenfüllung im Glas; Steinbruch Klöch, Nördlicher Bruch, Klöcher Klause, Steiermark. REM-Foto: BSE-Bild. Bildbreite: 0,12 mm. Relict magnetite with pyrite in nontronite in a glass cavity; Basaltquarry Klöch, northern quarry, Klöcher Klause, Styria. BSE-image. Image width: 0,12 mm.

oder Andalusit (Abb. 3) sind. Die fasrigen bis nadeligen Kristalle der radialstrahligen Aggregate zeigen in der Längsrichtung der Faserachse einen positiven Charakter der Zone. Es könnte demnach Sillimanit oder Mullit sein. Es sind jedoch selten auch Kristalle zu beobachten, deren Zonen-Charakter in der Faserrichtung negativ ist. Daneben ist noch Korund zu beobachten, welchen HERITSCHE 1990 ebenfalls im Glas feststellen konnte. Neu gebildeter Sanidin (Abb. 2) ist im Xenolith (K1) stellenweise recht häufig. Im Glas beider Xenolithe treten massenhaft die Mischkristalle Cordierit/Sekaninait mit Hercynit auf, wobei die myrmekitische Verwachsung von Hercynit und Cordierit/Sekaninait auf eine gleichzeitige Bildung verweisen. Die hohe Sekaninaitkomponente, im Xenolith (K1) sogar hin und wieder dominant, ist auffallend. Das Mg:Fe-Verhältnis von grob 1:1 spricht für einen Mischkristall Cordierit/Sekaninait, der bei hohen Temperaturen, zumindest bei 800°C (KITAMURO & HIRO 1982) gebildet wurde. Die übliche Verzwilligung von Cordieritkristallen konnte nur sehr selten und dann sehr undeutlich beobachtet werden. Ein annähernd parallel (001) angeschliffener Kristall zeigt eine scharf begrenzte Sektionierung von zumindest zwei ineinander verwachsenen Cordieritkristallen, wobei aber keine Verzwilligung erkennbar ist (Abb. 21). Auch Verzwilligungen, wie sie DEER & al. 1966 zeigen, sind nicht festzustellen.

Hercynit außerhalb von Cordierit/Sekaninait zeigt eine ausgezeichnete morphologische Entwicklung. Ilmenit und Rutil sind meist miteinander verwachsen und offenbar

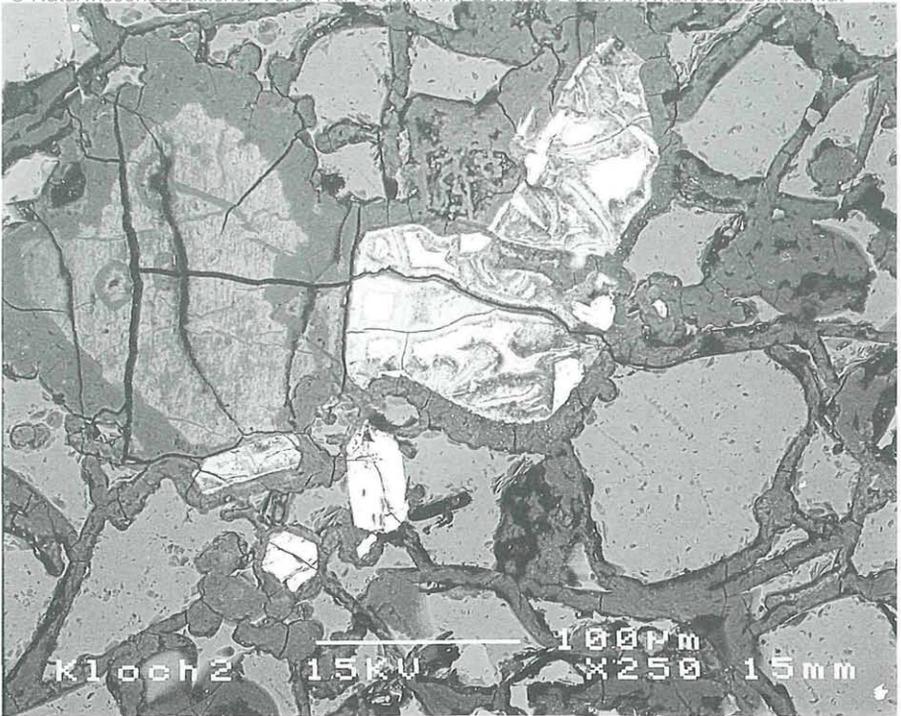


Abb. 18: Relikte des Ti-reichsten Magnetits mit Zonierung von Ti-reichem Glas? umgeben mit Ilmenit und Halloysitkrusten im Glas; Steinbruch Klöch, Nördlicher Bruch, Klöcher Klausen, Steiermark. REM- Foto: BSE-Bild. Bildbreite: 0,5 mm.

Relicts of Ti-rich magnetite with a Ti-rich glass rim surrounded by ilmenite and crusts of halloysite in glass; Basaltquarry Klöch, northern quarry, Klöcher Klausen, Styria. BSE-image. Image width: 0,5 mm.

kein Altbestand aus dem Gneis. Sicher ist, daß der noch vorhandene Quarz und Monazit-(Ce) rekristallisiert sind und Monazit-(Ce) wahrscheinlich durch die hohen Temperaturen in unterschiedlichen Phasen vorliegt. Armalcolit ist meist auffallenderweise mit Ilmenit und Rutil verwachsen. FLEISCHER 1970 erwähnt die Synthetisierung der Endglieder $MgTi_2O_5$ und $FeTi_2O_5$ von Armalcolit bei $1300^\circ C$ sowie den Zerfall von $FeTi_2O_5$ bei rund $1140^\circ C$ zu Ilmenit und TiO_2 . Das gemeinsame Auftreten mit Ilmenit und Rutil legt die Vermutung nahe, daß dies bei dem extrem Fe-reichen, beinahe reinen Endglied von Armalcolit von Klöch zumindest teilweise der Fall war.

Weiters treten noch Ferrosilit, Monazit-(Ce) (Cheralith) sowie Magnetit auf. Besonders Magnetit weist wiederum sehr hohe Ti-Gehalte auf, die weit über den Ti-Gehalten der bekannten „Titanomagnetite“ von Klöch liegen (ZEDNICEK 1984). Daneben treten auch Magnetitkristalle mit der üblichen stöchiometrischen Zusammensetzung sowie wenig Pyrit (K2) und Pyrrhotin (K1), der immer von einer dünnen Limonithaut umgeben ist, auf. Zirkon ist sehr häufig und Monazit-(Ce) (Cheralit) bildet meist linsenförmige, chemisch nicht homogene Kristalle.

MIRWALD 1986 und KNOP 1996 versuchten durch Einbau von Na in synthetischen, Wasser-hältigen Cordierit dessen Na-Gehalt als Geothermometer zu nutzen. Die Cordierit/Sekaninaitkristalle aus beiden Xenolithen von Klöch zeigen geringe Na- und etwas höhere K-Gehalte (siehe Tab. 2). Das Verhältnis Si:Al beträgt zwischen 5:3,98 und

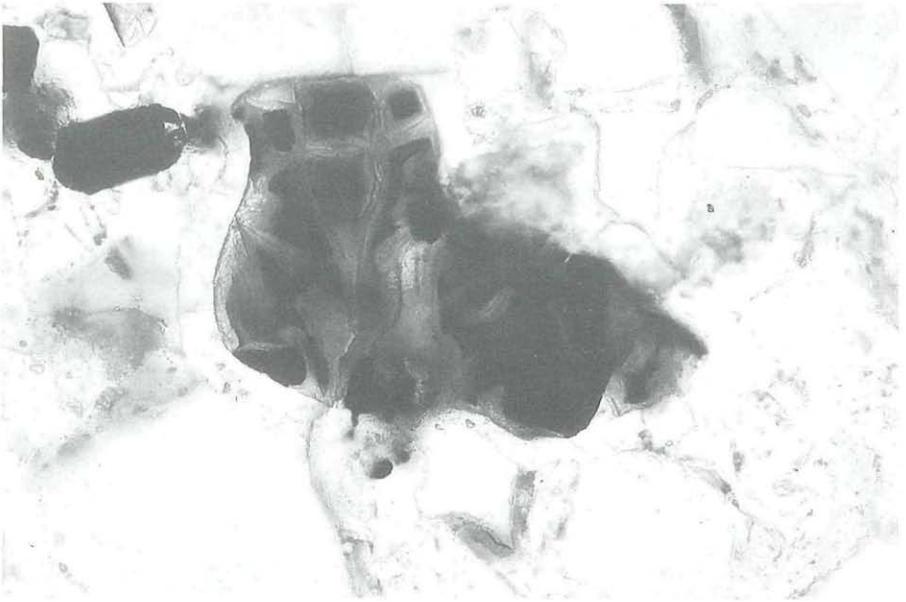


Abb. 19: Ti-reiches Glas? um extrem Ti-hältigen Magnetit; Steinbruch Klöch, Nördlicher Bruch, Klöcher Klause, Steiermark. Bildbreite: 0,32 mm.
Ti-rich glass rimming high-grade Ti-magnetite; Basaltquarry Klöch, northern quarry, Klöcher Klause, Styria. BSE-image. Image width: 0,32 mm.

4,93:4,07. Eine Substitution von Al durch Na/K + Be, wie sie IROUSCHEK 1980 angibt, scheidet bei den Xenolithen (K1 und K2) wahrscheinlich aus. Be wurde in den Xenolithen nicht gemessen. Wasser oder (OH)⁻ Gruppen in den Hohlkanälen des Cordierits sind auf Grund der hohen Analysensummen wahrscheinlich nur in sehr geringen Mengen vorhanden.

Nach KNOP 1996 ergibt der Na-Gehalt im Cordierit/Sekaninait aus den beiden Xenolithen (K1 und K2) eine Bildungstemperatur von etwas über 800°C. Die nicht Hercynit-führenden, vielleicht Na₂O-freien oder beinahe -freien Cordierit/Sekaninaitkristalle aus den Xenolithen sind nach KNOP 1996 höher temperiert entstanden und stellen damit eine ältere Generation dar. KITAMURA & HIROI 1982 geben Cordierit mit solchem Na₂O-Gehalt als üblich für Cordierit in Metamorphiten der Amphibolitfazies an.

Diese nach KNOP 1996 berechnete Bildungstemperatur der Cordierit/Sekaninaitkristalle erscheint aus mehreren Gründen zu niedrig. Der hohe Anteil an Glas in den Xenolithen, wobei dieses einen Chemismus aufweist, der annähernd einem Kalifeldspat oder/und einem Glimmer entspricht sowie die angeschmolzenen Quarzreste weisen auf sehr hohe Temperaturen hin.

Die körnigen Lagen des „Restquarzes“ schwimmen im Glas (Abb. 15). Die Anwesenheit von Sillimanit/Mullit? oder/und Andalusit sowie Korund innerhalb des Glases, sowie der hohe Sekaninaitanteil im Cordierit, der außerordentlich hohe Anteil von Ti im Magnetit sowie die Koexistenz von Armalcolit, Ilmenit und Rutil? sprechen für Temperaturen von über 1000°C für die Xenolithe.

SCHREYER 1966 berichtet über Synthesen von wasserhaltigem Fe-Cordierit bei Wasserdrücken von rund 1 kbar und 600°C und gibt die Beständigkeit von Fe-Cordierit bis

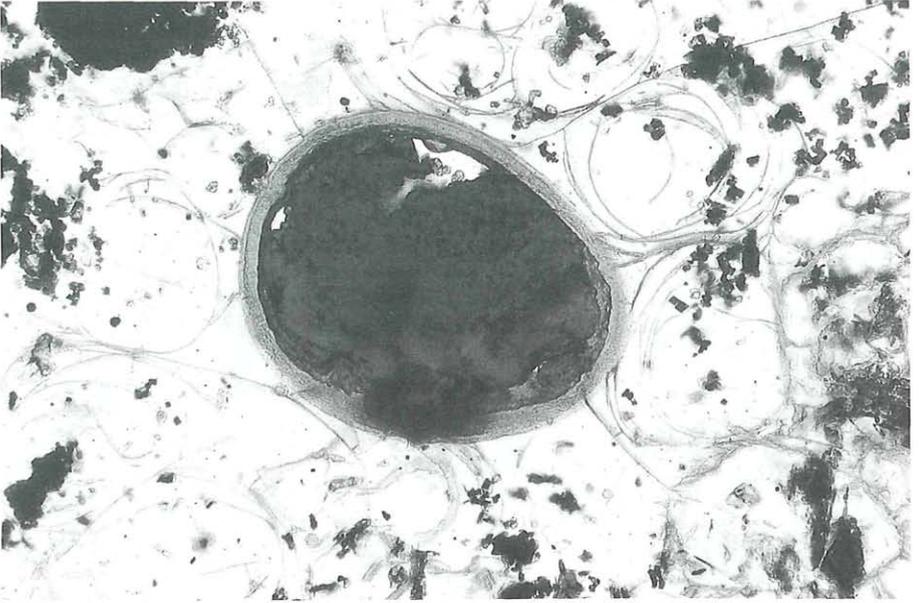


Abb. 20: Nontronit, der einen kleinen Blasen-hohlraum im Glas füllt; Steinbruch Klöch, Nördlicher Bruch, Klöcher Klause, Steiermark. // Polarisatoren. Bildbreite: 0,63 mm.
Nontronite filling a small glass cavity; Basaltquarry Klöch, northern quarry, Klöcher Klause, Styria. Parallel polars. Image width: 0,63 mm.

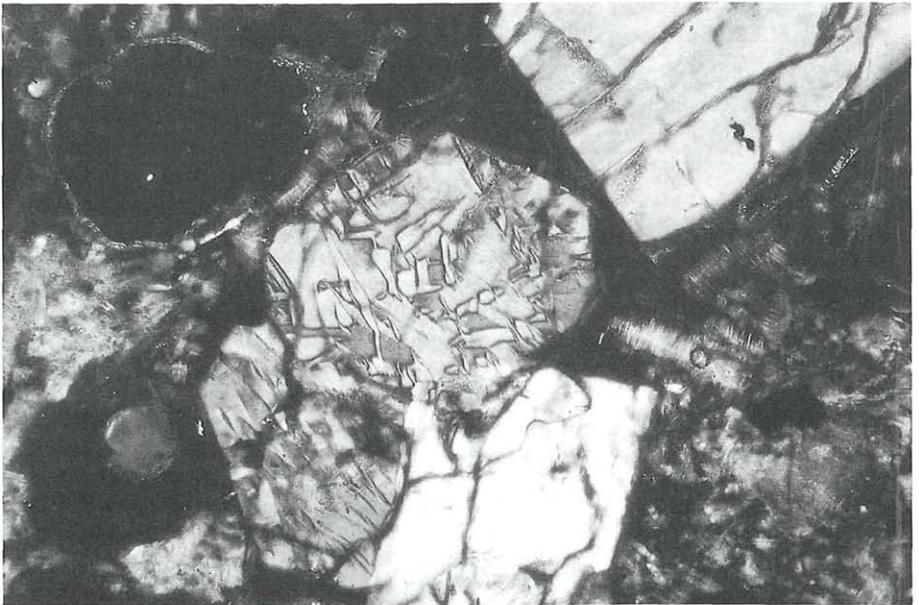


Abb. 21: Großer sektionierter Cordieritkristall (C2) (rechter Kristall Schnitt annähernd // (001); linker Kristall Schnitt annähernd // z) im Glas mit Nontronit; Steinbruch Klöch, Nördlicher Bruch, Klöcher Klause, Steiermark. + Polarisatoren. Bildbreite: 0,63 mm.
Large sectioned cordierite crystal (C2) (crystal on the right side, intersection approximately // (001); crystal on the left side, intersection approximately // z) in glass with nontronite; Basaltquarry Klöch, northern quarry, Klöcher Klause, Styria. Crossed polars. Image width: 0,63 mm.

© Naturwissenschaftlicher Verein für Steiermark; download unter www.biologiezentrum.at
rund 6 kbar bei Temperaturen zwischen 450° und 650°C an. Bei niedrigeren Temperaturen wird Fe-Cordierit abgebaut und zerfällt zu Chamosit und wasserhaltigen Al-Silikaten. Bei rund 10 kbar ist Fe-Cordierit nicht mehr stabil. Unterhalb von 675°C wurde er zu Chloritoid und Quarz abgebaut, oberhalb von 675°C entstanden Ferroanthophyllit oder Ferrogedit und Quarz. Außer Quarz, der aber sicher zum Gesteinsbestand des Gneises gehört, konnten in den Xenolithen (K1 und K2) von Klöch keine dieser bei SCHREYER 1966 genannten Mineralphasen nachgewiesen werden.

KITAMURA & HIROI 1982 nennen synthetischen Fe-Cordierit zwischen 800 und 1000°C.

Die vom Magma mitgerissenen Gneisstücke sind kurzzeitig bis 1000°C oder etwas darüber erhitzt worden und danach relativ rasch abgekühlt, sodaß Entmischungen im Magnetit unterblieben. Ilmenit würde bei Temperaturen über 800°C (KNOP 1996) ebenfalls keinen orientiert eingelagerten Rutil zeigen. Die Anwesenheit von sehr Fe-reichem Armalcolit sowie der wahrscheinliche Zerfall von wahrscheinlich vorhanden gewesenem FeTi_2O_5 , dem reinen Fe-Endglied von Armalcolit bei 1140°C in Ilmenit und TiO_2 , der in den Xenolithen zu beobachten ist, spricht ebenfalls dafür.

Die Bildung von Cordierit/Sekaninait erfolgt sicher bei Drucken unter 10 kbar, aber bei Temperaturen, die wahrscheinlich mehr als 1000°C betragen.

HERITSCHE 1964 gibt Temperaturen um 1000°C für Xenolithe von Klöch an. DIETRICH & POULTIDIS 1985 nennen Bildungstemperaturen für Lherzolithe, Spinellharzburgite und Dunite von Klöch von 950–1250°C und Drucke von 12–20 kbar.

Dank

Herrn Franz FÜRNRATT, Referat für Mineralogie am Landesmuseum Joanneum Graz, danken wir für das Anfertigen der Schriffe.

Literatur

- ANDERSON A. T., BUNCH T. E., CAMERON N., HAGGERTY S. E., BOYD F. R., FINGER L. W., JAMES O. B., KEIL K., PRINZ M., RAMDOHR P. & EL GORESY A. 1970: Armalcolite: a new mineral from the Apollo XL samples. – Proc. Apollo XI Lunar Sci. Conf. 1: 55–63.
- DEER W. A., HOWIE R. A. & ZUSSMAN J. 1966: An introduction to the rock-forming minerals. – Longmans, Green & Co. London, 528 S.
- DIETRICH H. & POULTIDIS H. 1985: Petrology of ultramafic xenolithes in alkali basalts from Klöch and Stradner Kogel (Styria, Austria). – N. Jb. Miner. Abh. 151: 131–140.
- FLEISCHER M. 1970: Armalcolite. – Am. Mineral. 55: 2136.
- FLEISCHER M. & MANDARINO J. A. 1995: Glossary of Mineral Species. – The Mineralogical Record Inc. Tucson, 279 S.
- FORBES, W. C., BAUR, W. H. & KHAN, A. A. 1972: Crystal Chemistry of Milarite-Type Minerals. – Am. Mineral. 57: 463–472.
- Hawthorne F. C., Kimata M., Cerny P., Ball N., Rossman G. R. & Grice J. D. 1991: The crystal chemistry of the milarite-group minerals. – Am. Mineral. 76: 1836–1856.
- HERITSCHE H. 1964: Sitzungsbericht der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse vom 18. Juni 1964. – Anzeiger math.-naturw. Klasse, Österreichische Akademie der Wissenschaften 10: 247–248.
- HERITSCHE H. 1990: Eine Kontaktbildung aus dem Nephelinbasanitsteinbruch von Klöch (Südoststeiermark) mit seltenen Mineralien; natürliches Vorkommen der Verbindung $4\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SO}_3$. – Mitt. Abt. Miner. Landesmuseum Joanneum Graz 58: 15–35.
- IROUSCHEK A. 1980: Zur Verbreitung von Cordierit im zentralen Lepontin. – Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 60: 137–144.
- KITAMURA M. & HIROI Y. 1982: Indialite from Unazuki Pelitic Schist, Japan, and its Transition Texture to Cordierite. – Contrib. Mineral. Petrol. 80: 110–116.
- KNOP E. 1996: Experimentelle Kalibrierung des Na-in-Cordierit-Thermometers. – Mitt. Österr. Mineralog. Ges. 141: 127.

- © Naturwissenschaftlicher Verein für Steiermark; download unter www.biologiezentrum.at
- MIRWALD P. W. 1986: Ist Cordierit ein Geothermometer?. – Fortschr. d. Min. 64, Beih. 1: 119.
- POSTL W., TAUCHER J. & MOSER B. 1996: Neue Mineralfunde im oststeirischen Vulkangebiet. – Mitt. Abt. Miner. Landesmuseum Joanneum Graz 60/61: 3–76.
- SCHREYER W. 1966: Zur Stabilität des Ferrocordierits. – Fortschr. d. Min. 42(1964): 213.
- TAUCHER J., POSTL W., MOSER B., JAKELY D. & GOLOB P. 1989: Klöch ein südoststeirisches Basaltvorkommen und seine Minerale. – Selbstverlag, 160 S.
- ZEDNICEK W. 1984: Auflicht- und rasterelektronenmikroskopische Studien an Erzeinschlüssen in den Basalten des oststeirischen Vulkangebietes (Steinberg bei Feldbach, Straden, Klöch) und im Shoshonit von Weitendorf. – Mitt. Abt. Miner. Landesmuseum Joanneum Graz 52: 27–38.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mitteilungen des naturwissenschaftlichen Vereins für Steiermark](#)

Jahr/Year: 1998

Band/Volume: [128](#)

Autor(en)/Author(s): Taucher Josef, Hollerer Christine Elisabeth

Artikel/Article: [Minerale eines Si- und Al-reichen Xenoliths aus dem Basaltsteinbruch von Klöch, Nördlicher Bruch \(Steiermark, Österreich\). 21-42](#)