

Leukophyllitbildung und Alteration in Scherzonen am Beispiel der Lagerstätte Kleinfestritz (Steiermark)

Von WALTER PROCHASKA*)

Mit 6 Abbildungen und 1 Tabelle

Österreichische Karte 1 : 50.000
Blatt 162

*Steiermark
Leukophyllit
Mg-Al-Chlorit
Petrographie
Geochemie
Genese
Alteration*

Inhalt

Zusammenfassung	111
Abstract	111
1. Einleitung	112
2. Geographische und geologische Position Lagerstätte Kleinfestritz	112
3. Petrographische Beschreibung	114
3.1. Hydrothermal alterierte Gesteine aus der Lagerstätte	114
3.1.1. Chloritschiefer	114
3.1.2. Quarz-Chlorit-Muskovit-Schiefer	116
3.1.3. Albit-Chlorit-Muskovit-Gneis	116
3.1.4. Teilweise alterierte Paragneise	116
3.2. Die nicht alterierten Nebengesteine der Lagerstätte	116
3.2.1. Paragneise	116
3.2.2. Granitisierte Paragneise	116
4. Geochemische Untersuchungen	117
4.1. Haupt- und Spurenelemente	117
4.2. Selten-Erd-Elemente	119
5. Ergebnisse und Diskussion	121
Dank	121
Literatur	122

Zusammenfassung

Die Leukophyllitlagerstätte Weißkirchen (Kleinfestritz) liegt im Bereich des Kernkomplexes des Gleinalmkristallins. Die Nebengesteine sind Paragneise mit Lagen von Orthogneisen (Augengneise) und Amphiboliten.

Die Lagerstätte ist eine etwa 15 m mächtige Scherbahn mit sehr flachem Einfallen, deren Auflage auf das kretazische tektono-metamorphe Ereignis bei Temperaturen von 460 bis 480° zurückgeht. Das kohärente Verhalten von stabilen Elementen wie Al oder die SSEE mit dem Mg und generell die Anreicherung dieser Elemente im Zuge der fortschreitenden Alteration zeigen, daß Mg eine relative Anreicherung durch den Abtransport anderer Hauptkomponenten wie Si, Alkalien etc. erfahren hat.

Da die neu kristallisierenden Glimmer und die Albite an Eu verarmt sind, sind für die Leukophyllitbildung wohl reduzierende Bedingungen bei höheren Temperaturen anzunehmen.

Formation and Alteration of Leucophyllite in Shear Zones in the Deposit of Kleinfestritz (Styria)

Abstract

The leucophyllite deposit Weißkirchen is located within the core complex of the "Gleinalmkristallin" which is part of the Austroalpine Crystalline Unit. The host rocks are orthogneisses and paragneisses, augengneisses and banded amphibolites.

The leucophyllite formation is related to retrograde metamorphism and shearing during the Early Alpine (Upper Cretaceous) events under temperature conditions of 460 to 480°C. Alteration resulted in formation of chl-mu-qz schists (thickness 15 m)

*) Anschrift des Verfassers: Univ.-Doz. Dr. WALTER PROCHASKA, Institut für Geowissenschaften, Montanuniversität, A-8700 Leoben.

with sharp contacts to the host rocks. Stable elements (Al, HREE) and Mg show a positive correlation and are absolutely enriched during alteration. This may indicate that the source of Mg for the formation of leucophyllites is a process of relative enrichment due to the mobilization and partial removal of other main components (Si, Na, K, Sr. etc).

The fact that Eu was not oxidized to the trivalent state is consistent with higher temperature conditions in reducing environment.

1. Einleitung

Obwohl der Begriff „Leukophyllit“ in der petrographischen Nomenklatur nur sehr unzureichend definiert ist, wird er für Quarz-Muskovit-Chloritgesteine unterschiedlicher Genese verwendet. Besonders in den Ostalpen wird die Diskussion um diese Gesteine schon seit STARKL (1883) geführt, von dem der Begriff „Leukophyllit“ stammt. Er ordnete sie allgemein den Phylliten zu, ohne aber nähere Angaben zur Genese zu machen. In der Folge haben einige Autoren die geologischen Verhältnisse und die petrographischen Prozesse bei der Leukophyllitbildung, besonders im Bereich des Penninikums der Hohen Tauern, eingehend untersucht (z.B. CORNELIUS & CLAR, 1939; EXNER, 1957; etc.), die bereits eine z.T. vollständige Mobilisation der Alkalien, Si etc. beobachtet. VENDEL (1972) untersuchte die Genese der Leukophyllite in unterostalpinen Gesteinen des Alpenostrandes und nahm eine Mg-Zufuhr an, die sogar bis zur Bildung einer Talklagerstätte (Rabenwald) führen kann. Aus heutiger Sicht allerdings scheint die Genese dieser Talklagerstätte auf die Umwandlung eines tektonisch eingeschuppten Magnesits zurückzuführen zu sein und nicht auf eine externe hydrothermale Mg-Quelle, wie sie von mehreren früheren Autoren angenommen wurde (PROCHASKA, 1989).

Eine Beschreibung der Problematik der Nomenklatur und der Genese der Leukophyllite unter Einbeziehung geochemischer Überlegungen ist bei PROCHASKA (1985, 1986) wiedergegeben. „Weißschiefer“ im hier beschriebenen Sinn stehen in keinem Zusammenhang mit Gesteinen aus der „Weißschieferfazies“ (SCHREYER, 1974). Für diese höchstmetamorphen Gesteine ist die Paragenese Talk und Disthen fazieskritisch, die in den hier beschriebenen Leukophylliten nicht auftritt. Die Bildungsbedingungen der Leukophyllite liegen im Bereich Grünschieferfazies/beginnende Amphibolitfazies.

Weiters sei darauf hingewiesen, daß der Name „Leukophyllit“ auch als Mineralname für einen Mg-Al-Chlorit verwendet wird (SEIFERT, 1968).

Die zentrale Frage, mit der sich alle Untersuchungen zur Bildung der Leukophyllite auseinandersetzen, ist die Herkunft bzw. Mobilität des Mg, das hier relativ zum Nebengestein deutlich angereichert ist. Von den meisten Autoren wird die Bedeutung der tektonischen Aktivität bei der Entstehung dieser Gesteine bei gleichzeitiger hydrothermalen Zufuhr des Mg betont. Eine andere Gruppe hält die Anreicherung des Mg für primär sedimentär. Es werden daher ganz allgemein zwei völlig verschiedene Entstehungsmöglichkeiten für diese Gesteine in Betracht gezogen, wobei – wie es scheint – beide unabhängig voneinander zu einer Leukophyllitbildung führen können:

① Tektonisch-metamorphe Entstehung

in Scherzonen. Die „Weißschiefer“ treten typischerweise als Phyllonite in Orthogesteinen auf.

- Metasomatische Entstehung durch umfangreichen Stoffaustausch wie Abtransport von Na, K, Ca, Fe etc. und Mg-Zufuhr von meist nicht nä-

her definierten Quellen (VENDEL, 1972; MODJTAHEDI & WIESENER, 1974; MOREAU, 1981).

- Relative Anreicherung von Mg durch Abtransport anderer Hauptelemente in Scherzonen. Bei der Phyllonitisierung der Granitgneise werden Na, Ca, Fe und teilweise auch SiO₂ entfernt und Al, K und Mg relativ angereichert (CORNELIUS & CLAR, 1939; EXNER, 1957; PROCHASKA, 1986).

Natürlich können auch beide der hier angeführten Mechanismen zur Mg-Anreicherung gleichzeitig wirken.

② Sedimentäre Entstehung

durch Metamorphose eines Mg- und Al-reichen Sediments unter isochemischen Bedingungen. Die daraus resultierenden Disthen-Leuchtenbergit-Quarzite werden aber häufig mit den „echten“ Leukophylliten (Phyllonite) zu einer Gesteinsgruppe zusammengefaßt. Es wird in der Folge daher eine Definition für diese Gesteine vorgeschlagen. Ein gutes Beispiel für diesen zweiten Typ ist das Disthenquarzitvorkommen vom Schloffereck bei Birkfeld, wo die sedimentäre Herkunft und die mehrphasige Metamorphoseprägung nachgewiesen sind (MODJTAHEDI & WIESENER, 1974; PROCHASKA, 1985). Als Ausgangsgestein werden unter anderem Evaporite, Kaolinsande, Bentonite oder saure Vulkanite in Betracht gezogen (LELKES-FELVARI et al., 1982; FAZEKAS et al., 1975).

Definitionsvorschlag

Es wird hier vorgeschlagen, den Begriff „Leukophyllit“ nur für jene hellen Muskovit-Chlorit-Quarzgestein zu verwenden, die in Scherzonen unter hydrothermale Einfluß entstehen. In diesem Sinne definiert auch KUZVART (1984) diesen Begriff. Dies bedeutet die Einbeziehung einer genetischen Komponente in einen Nomenklaturbegriff. Für die andere Gruppe (Mg-Al-reiche Metamorphite) soll der jeweilige petrographische Name verwendet werden (z.B. Disthen-Muskovit-Quarzphyllit).

2. Geographische und geologische Position der Lagerstätte Kleinfestritz

Detaillierte geologisch-petrographische Bearbeitungen der Leukophyllitlagerstätte Weißkirchen wurden von BOROVIČZÉNY & ALKER (1961), HADITSCH & LASKOVIC (1973) und MOREAU (1981) durchgeführt. Die erstgenannten Autoren stellten die tektonische Entstehung der Lagerstätte fest, ohne Angaben über den Mechanismus der Mg-Anreicherung zu machen, während MOREAU (1981) eine Mg-Zufuhr unbekannter Herkunft annimmt.

Zur näheren quantitativen Erfassung der oben beschriebenen Problematik sollen geochemische Daten vorgelegt werden. Die Leukophyllitlagerstätte Kleinfest-

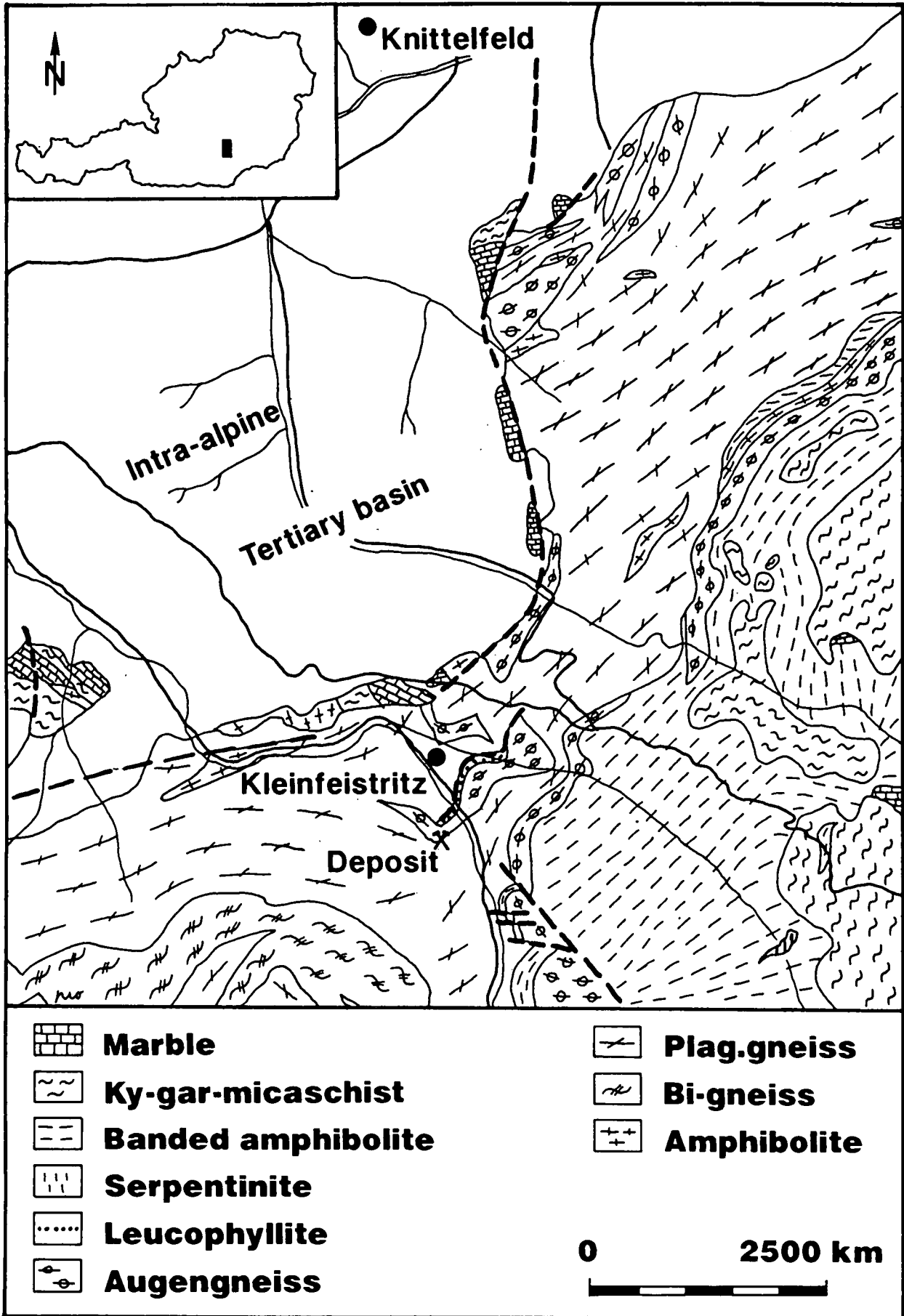


Abb. 1.
Geologische Kartenskizze der Umgebung der Leucophyllitlagerstätte Weißkirchen.

stritz bietet wegen der guten Aufschlußverhältnisse ausgezeichnete Möglichkeiten einer detaillierten Probe-nahme.

Die Leukophyllitlagerstätte Kleinfestritz liegt im Bereich der Stubalpe im Bundesland Steiermark. Der Bergbau befindet sich im Kothgraben im Gemeindegebiet von Kleinfestritz etwa 10 km südöstlich von Zeltweg. Leukophyllit wird hier ausschließlich im Untertageabbau gewonnen und in Weißkirchen aufbereitet und verarbeitet.

Die Lagerstätte liegt im Stub- und Gleinalpenkristallin, einem Bestandteil des Ostalpinen Kristallins (Abb. 1). Nach BECKER (1977) gliedert sich der Abschnitt des Stubalpenkristallins tektonisch wie folgt (von Hangend nach Liegend):

- Marmor-Komplex (Almhausserie)
- Glimmerschiefer-Komplex (Rappoltserie)
- Amphibolit-Komplex (Speikserie)
- Gneis-Komplex bzw. Vulkanogener Komplex mit Augengneis im Hangenden.

Die Lagerstätte im engeren Sinn liegt im Bereich des Gneis-Komplexes innerhalb einer maximal 20 m mächtigen Störungszone. Die geologische Karte 1 : 50.000 von BECKER (1979) weist Paragneis im Liegenden der Lagerstätte aus, weiter wird eine geringmächtige Augengneislage im Hangenden kartiert. Soweit dies allerdings aus den untertägigen Aufschlüssen zu erkennen ist, besteht zwischen den Gneisen im Hangenden und im Liegenden des Leukophyllit-führenden Bereiches kein wesentlicher Unterschied. Die Augengneislage tritt offensichtlich erst weiter entfernt im Hangenden auf und steht mit der Leukophyllitbildung in keinem Zusammenhang. Basische Gesteine, wie sie in dieser Serie häufig vorkommen (Bändergneise, Amphibolite), können im unmittelbaren Bereich der Lagerstätte nicht beobachtet werden.

Die tektonisierte Zone liegt relativ flach und fällt mit ca. 20° nach SE ein. Das Ende der Lagerstätte im Verflachen wird nach MOREAU (1981) durch eine Verwerfung markiert. Dabei soll es sich um eine Aufschiebung handeln, wodurch die Fortsetzung der Lagerstätte über das heutige Erosionsniveau gehoben sein soll. Der Schersinn aller steilstehenden jungen Störungen in der Lagerstätte deutet allerdings immer auf Abschiebungen hin. Es ist daher sehr wahrscheinlich, die Fortsetzung der Lagerstätte jenseits des Hauptverwerfens in der hangenden abgeschobenen Scholle in tieferen Bereichen wiederzufinden. Ein Bohrprogramm in nächster Zukunft soll diesbezüglich Klarheit schaffen.

Nach FLÜGEL & NEUBAUER (1984) und NEUBAUER (1988) liegt der Augengneis im Liegenden einer kaledonischen oder variszischen Suture, die eine tiefere Einheit mit vorwiegend Metavulkaniten von einer höheren Einheit mit basalen Ophioliten trennt. Dieser tektonische Bau ist jedenfalls wesentlich älter als die Lagerstättenbildung und steht mit dieser in keinem ursächlichen Zusammenhang. Bei den hangenden Augengneisen handelt es sich nach HERITSCH & TEICH (1976) möglicherweise um ehemalige saure Effusiva.

Das Kristallin ist im allgemeinen durch mindestens zwei voneinander unterscheidbare Metamorphose- und Orogenesezyklen geprägt (NEUBAUER, 1988). Die strukturbestimmende Hauptmetamorphose ist variszischen Alters mit amphibolitfazialer Metamorphose, Migmatitbildung und syn- bis postorogenen Granitintrusionen. Sehr deutlich ist aber auch eine mit der alpidischen

Großtektonik verbundene retrograde Überprägung festzustellen. Die Leukophyllitbildung ist zweifellos eine Folge dieses tektonisch-metamorphen Ereignisses in einem frühen, duktilen Stadium.

Nach FRANK et al. (1976) ist für die Bildung der tiefsten Einheit ein Alter von 500 mio. Jahren anzunehmen (Gleinalm). NEUBAUER (1988) stellt die Bildung des Kernkomplexes und die Ophiolitbildung in das Präkambrium.

3. Petrographische Beschreibung

3.1. Hydrothermal alterierte Gesteine aus der Lagerstätte

Die Bildung der untersuchten Leukophyllite entspricht einer Serizitisierung bzw. in einem fortgeschrittenen Stadium einer Chloritisierung. Es erfolgte dabei meist eine vollständige Rekristallisation und eine Neueinstellung der Paragenese, wobei auch umfangreicher Stofftransport wirkte, der auf eine intensive hydrothermale Aktivität zurückzuführen ist.

Die hydrothermal neugebildeten Gesteine der Leukophyllitlagerstätte Kleinfestritz kann man in zwei lithologische Haupttypen unterteilen:

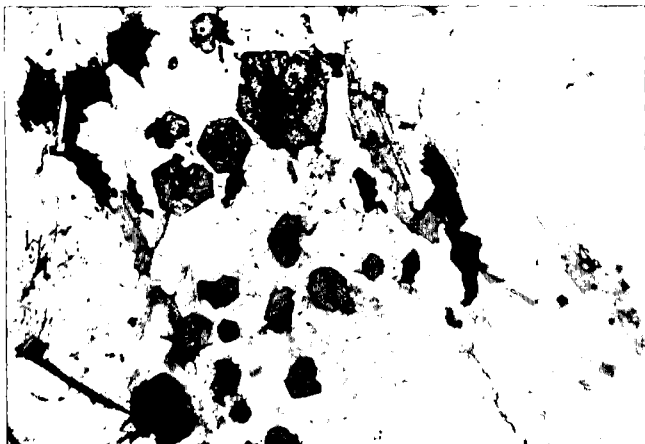
- 1) Chloritreiche Phyllite (mit Rutil, Apatit und Disthen).
- 2) Helle, quarz- und muskovitreiche Gesteine (z. T. mit Feldspat).

Eine exakte Unterscheidung dieser beiden Typen ist nur in ihren Endgliedern möglich, häufig findet man Übergänge zwischen diesen beiden. Generell sind aber die liegenden Bereiche (5 bis 7 m) dem chloritreichen Typ zuzuordnen, während die hangenden Teile der Lagerstätte von hellen, quarzreichen Leukophylliten gebildet werden. Offensichtlich ist die Ursache für die Ausbildung dieser verschiedenen petrographischen Typen in der unterschiedlichen Intensität der Alteration begründet. Es gibt keine Anzeichen dafür, daß diese beiden Gesteinstypen auf unterschiedliche Ausgangsmaterialien zurückzuführen sind. In Abb. 2 sind Mikrofotografien der wichtigsten lithologischen und strukturellen Gesteinstypen aus der Lagerstätte wiedergegeben, die in der Folge beschrieben werden.

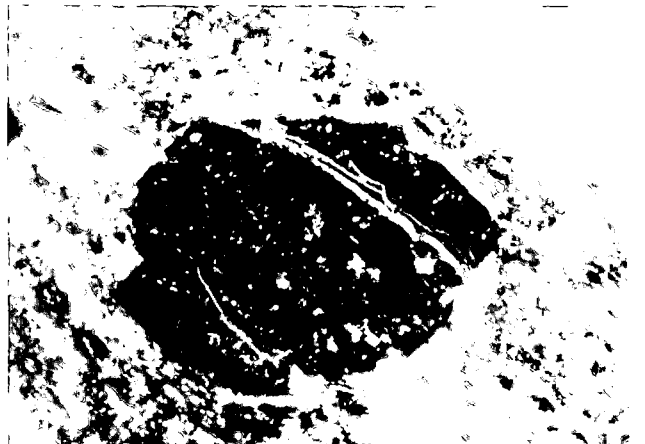
3.1.1. Chloritschiefer

Dieses Gestein tritt in den liegenden Bereichen der Lagerstätte auf und ist dadurch gekennzeichnet, daß der Chloritgehalt annähernd 100 % erreichen kann. Die ausgezeichnete Schieferung des Gesteins wird durch groblamellierte, gut eingeregelt Chlorite verursacht, bei denen es sich um Sheridanit handelt (MOREAU, 1981). Zumindest zwei Arten dieser Chloritschiefer können unterschieden werden, die in der Folge beschrieben werden. Beide Typen bestehen fast ausschließlich aus Chlorit, während Muskovit völlig fehlt.

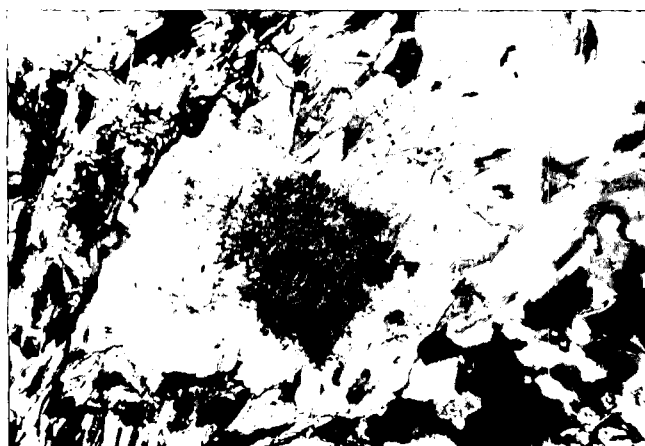
- a) Dieser Typus ist durch eine ausgezeichnete engständige Schieferung gekennzeichnet und führt als Hauptgemengteil ausschließlich Chlorit. Als charakteristische Nebengemengteile treten hier Disthen in einige mm großen idiomorphen, synkinematischen Kristallen auf, die sich randlich in Serizit umwandeln. Im Druckschatten befinden sich gut rekristallisierte Quarze, Muskovite und Chlorite. Sehr untergeordnet sind Zirkon und Rutil zu finden, Apatit fehlt



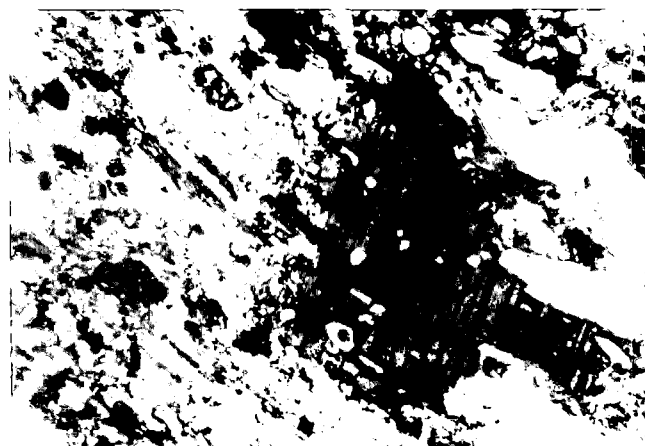
▲ a



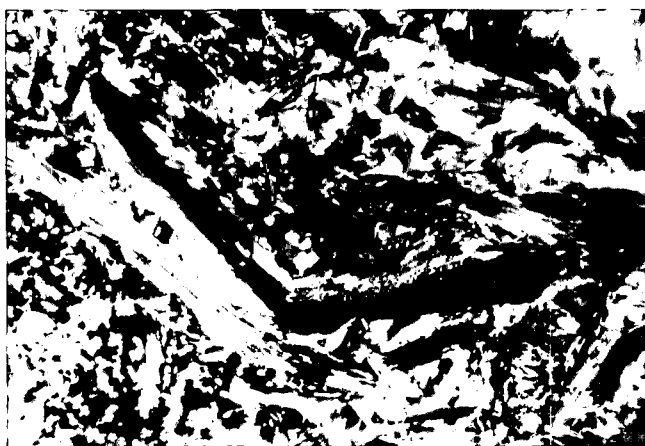
b ▲



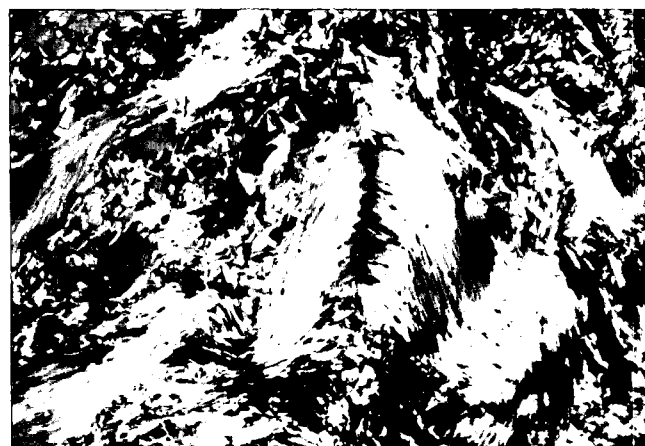
▲ c



d ▲



▲ e



f ▲

Abb. 2.

Dünnschliffbilder aus dem Leukophyllit.

- a) Granat- und biotitführender Paragneis als unverändertes Nebengestein der Leukophyllitlagerstätte.
|| Pol., Bildlänge 3 mm.
- b) Teilweise alterierter Paragneis. Serizitisierte Klüfte im Granat parallel zur Schieferung.
x Pol., Bildlänge 2,5 mm.
- c) Albitblastese im Leukophyllit mit klarem Rand und getrübbem Kern.
x Pol., Bildlänge 1,5 mm.
- d) Reliktischer verzwilligter Plagioklas wird bei der Leukophyllitbildung randlich zu Serizit umgewandelt.
x Pol., Bildlänge 1,5 mm.
- e) Postkristallin deformierte Albitblasten im Leukophyllit.
X Pol., Bildlänge 3 mm.
- f) Postkristallin deformierte Muskovit/Chloritlagen im Leukophyllit.
x Pol., Bildlänge 7 mm.

allerdings gänzlich in diesem Typus der Chlorit-schiefer.

- b) Zum Unterschied von obigem Typ ist die Schieferung hier nicht so streng parallelstrukturiert, es treten auch Chlorite quer zur Schieferung auf. Die wichtigsten mineralogischen Unterschiede zum Typ a) sind das häufige Auftreten von kurzsäuligen, idiomorphen Apatiten, während Disthen völlig fehlt. Die Rutilite treten hier in rundlichen Aggregaten auf, die eine Größe von etwa 0,5 mm erreichen und aus kleinen (<0,1 mm) idiomorphen Rutilkristallen zusammengesetzt sind. Der Rutilgehalt kann in diesem Gesteinstyp einige Prozent betragen.

3.1.2. Quarz-Chlorit-Muskovit-Schiefer

Ein deutliches Kennzeichen des zweiten, helleren Typs von Leukophylliten in dieser Lagerstätte ist der generell hohe Quarzgehalt. Diese Gesteinstypen treten allgemein verstärkt im Hangenden auf. Der Kontakt zum hangenden Gneis ist durch eine Übergangszone von teilweise verschiefertem, hellem Gneis mit ausgeprägter Feldspatblastese (Albit-Chlorit-Muskovit-Gneis) gekennzeichnet. Die Mächtigkeit dieser Übergangszone liegt im Bereich von 0,2 bis 1 m.

Bei den hellen Leukophyllittypen ist Quarz mit einem Anteil von bis zu 60 % Hauptgemengteil. Die sehr unterschiedlich großen Quarzkörner sind untereinander stark verzahnt. Muskovit tritt zusammen mit Chlorit in diesem Gestein in durchgehenden Lagen auf. Typisch ist auch hier eine intensive Verwachsung von Chlorit und Muskovit, die hauptsächlich parallel zur Basisfläche erfolgt. Selten findet man „augige“ Aggregate aus Hellglimmer, die nicht schieferungsparallel eingeregelt sind. Disthen tritt auch in diesem Gestein als Nebengemengteil auf. Die idiomorphen Kristalle sind vom Grundgewebe gut abgegrenzt und oft poikilitisch von Quarz durchwachsen.

In diesem Typus ist häufig eine Umschieferung zu beobachten, die bei den oben beschriebenen chloritreichen Gesteinen bereits zu einer völlig neuen Einstellung der Schieferung geführt haben dürfte.

Zu den unten beschriebenen Albit-Chlorit-Muskovit-Gneisen bestehen Übergänge aufgrund des stark unterschiedlichen Plagioklasanteiles.

Als Akzessorien treten relativ häufig etwa 0,1 mm große idiomorphe Zirkonkristalle auf. Ebenso wie der auch hier vorkommende Rutil sind die Zirkonkristalle überwiegend an die glimmer- und chloritreichen Lagen gebunden, wo die Zirkone pleochroitische Höfe hervorrufen. Apatit tritt ebenfalls sehr häufig auf.

3.1.3. Albit-Chlorit-Muskovit-Gneis

Auch dieses Gestein erfuhr während der hydrothermalen Prozesse eine vollständige Rekristallisation. Der teilweise beträchtliche Plagioklasanteil ist der wichtigste Unterschied zum oben genannten quarzreichen Leukophyllit. Die Textur der Feldspatblasten ist syn- bis posttektonisch, d. h. sie treten quer zur Schieferung auf, zeigen aber häufig deformierte Zwillingsslamellen. Typisch für diese Feldspäte ist ein serizitisierter, etwas trüber Kern und ein scharf abgegrenzter, klarer Rand. Dieser Gneis tritt hauptsächlich in Linsen und Lagen im hangenden Randbereich der Lagerstätte auf. Im Gegensatz zu den beiden oben beschriebenen

Gesteinstypen besteht für diesen Gneis zur Zeit keine wirtschaftliche Verwendung.

3.1.4. Teilweise alterierte Paragneise

Es handelt sich hier um ein ähnliches Gestein wie der Albit-Chlorit-Muskovit-Gneis, wobei allerdings in diesem Fall noch Relikte der ursprünglichen Nebengesteinsparagenese erhalten sind. Dieser Typus tritt selten in sehr geringmächtigen Bereichen am Rand der Lagerstätte auf. Makroskopisch ist dieses Gestein einem hellen Leukophyllit ähnlich, man kann aber zum Unterschied von diesem einige mm große Granaten erkennen.

Plagioklas, Biotit und Granat sind die Relikte des Altbestandes, wobei der Plagioklas und der Biotit schon in sehr starkem Ausmaß zu Glimmer bzw. zu Chlorit umgewandelt sind. Der Granat weist noch seine idiomorphe Gestalt auf und ist von postkristallinen späten Klüftchen durchzogen, die von feinschuppigem Serizit gefüllt sind (Abb. 2b). Neubildungen sind Muskovit, Serizit, Chlorit und besonders eine sehr auffällige Neuspaltung von Apatit, der ein Hauptgemengteil in diesem Gestein ist (bis zu 15 % Apatit!).

3.2. Die nicht alterierten Nebengesteine der Lagerstätte

3.2.1. Paragneise

Der Paragneis unmittelbar aus dem Liegenden bzw. dem Hangenden der Lagerstätte führt als Hauptgemengteile Quarz, Plagioklas, Granat und Biotit. Die Glimmer sind deutlich entsprechend der Schieferung eingeregelt, nur untergeordnet findet man Fe-reiche Chlorite quer zur Schieferung. Als Nebengemengteil tritt Muskovit auf. Akzessorische Gemengteile sind hauptsächlich Apatit, weiters Klinozoisit, Rutil und eine opake Phase.

An retrograden Umwandlungen ist in diesen Paragneisen eine deutliche Chloritisierung der Biotite und gelegentlich auch der Granate zu bemerken.

3.2.2. Granitisierte Paragneise

Nach BECKER (1977) wird das Hangende der Lagerstätte von Augengneisen magmatischen Ursprungs gebildet. Wie aber weiter oben erwähnt, sind die unmittelbar im Hangenden der Lagerstätte anschließenden Gesteine Paragneise, die Augengneislage setzt erst weiter im Hangenden ein. Im Zuge dieser Arbeit wurden in den Paragneisen im Liegenden der Lagerstätte scharf abgegrenzte Lagen eines granitähnlichen Gesteins gefunden. Es zeichnet sich durch eine regellose massige Textur, eine Albitblastese und eine deutliche Epidotisierung aus. Die Feldspäte (ausschließlich Plagioklase) sind stark getrübt und von Serizit und Epidot gefüllt. Gefüge und Mineralbestand weisen auf eine metasomatische Beeinflussung dieses Gesteins hin. Dieses Ereignis scheint allerdings wesentlich älter als die Lagerstättenbildung zu sein und mit dieser in keinem Zusammenhang zu stehen. Alkalifeldspäte sind hier – anders als bei den typischen Augengneisen – nicht zu finden.

Es sei hier auf die geochemische Ähnlichkeit dieses Gesteins mit den Leukophylliten besonders in Bezug auf den SEE-Chemismus hingewiesen.

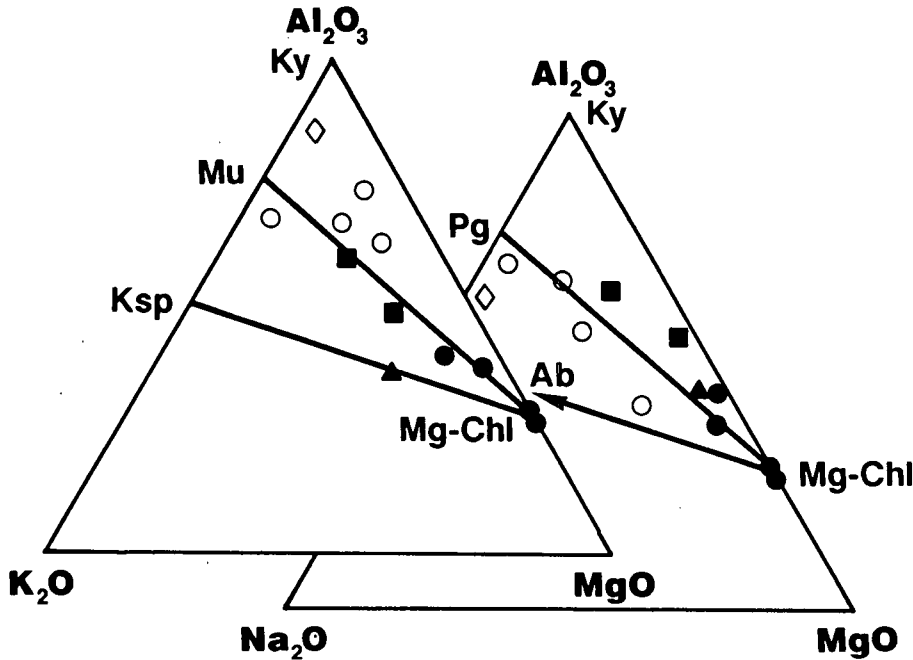


Abb. 3. Zusammensetzung der analysierten Proben im Al_2O_3 -MgO- K_2O bzw. Na_2O -Diagramm. Mit zunehmender Alteration nähert sich die Zusammensetzung dem Chlorit-Projektionspunkt. Legende siehe Tab. 1.

4. Geochemische Untersuchungen

Das Ziel dieser Untersuchungen war es, festzustellen, welche Stoffverschiebungen während der Bildung der Leukophyllite durch die Alteration der Gneise auftreten. Zu diesem Zweck wurden Leukophyllite aus dem unmittelbaren Bereich der Lagerstätte und Ortho- und Paragneise aus den nicht alterierten Nebengesteinen chemisch untersucht. Haupt- und Spurenelementanalysen wurden mittels RFA und AAS Standardmethoden analysiert, die Gehalte an Selten-Erd-Elementen (SEE) wurden durch instrumentelle Neutronenaktivierungsanalyse bestimmt.

Ähnliche Untersuchungen aus dem Ostalpenraum wurden von KIESL et al. (1983) an Leukophylliten aus dem unterostalpinen Kristallin durchgeführt. Nach ihren Ergebnissen erfolgte während der metasomatischen Umwandlung der Gneise kein nennenswerter Transport der SEE über weitere Bereiche. Es fand lediglich eine Neuverteilung dieser Elemente in die rekristallisierenden Schwerminerale statt.

ALDERTON et al. (1980) untersuchten die Mobilität der SEE bei verschiedenen Typen der metasomatischen Alteration (K-Metasomatose, Serizitisierung, Turmalinisierung, Chloritisierung und Kaolinisierung) von Graniten. Sie stellen fest, daß bei der Bildung von Chlorit während der Alteration die $SSEE^{3+}$ (schwere Selten-Erd-Elemente) angereichert werden, während Eu^{2+} mobil wird und völlig aus dem System entfernt wird.

4.1. Haupt- und Spurenelemente

Die Ergebnisse repräsentativer Haupt- und Spurenelemente von Leukophylliten und von den Nebengesteinen der Lagerstätte sind in Tab. 1 aufgelistet. Generell kann festgestellt werden, daß alle Elemente (auch die „stabilen Elemente“) einer unterschiedlich starken Mobilisation unterworfen waren. Die chemische Zusammensetzung der analysierten Proben ist im Dreieck Al_2O_3 -MgO- K_2O (bzw. Na_2O) dargestellt. Die Projektionspunkte der Analysen der Leukophyllite liegen auf der Linie Chlorit-Muskovit (Paragonit) bzw. im Disthen-

feld (Abb. 3). Aus dem A'KF Diagramm ist deutlich ersichtlich, daß es sich bei dem Alterationstyp im wesentlichen um eine Chloritisierung handelt (Abb. 4). Im Zuge der Leukophyllitbildung verschiebt sich die chemische Zusammensetzung in Richtung Chlorit-Projektionspunkt.

Während der hydrothermalen Alteration kam es zu einem Abtransport von Si, Fe, Ca, Na und Sr. Die Elemente Al, Mg und teilweise auch K erfuhren z. T. eine beträchtliche Anreicherung. Es scheint, daß sich diese Elemente während der Alteration „stabiler“ als andere Komponenten verhielten (besonders Al) und so relativ angereichert wurden. Der Anreicherungsfaktor im Vergleich mit dem Ausgangsgestein ist allerdings bei den verschiedenen Elementen sehr unterschiedlich und es scheint, daß sich kein Element völlig stabil verhielt. Of-

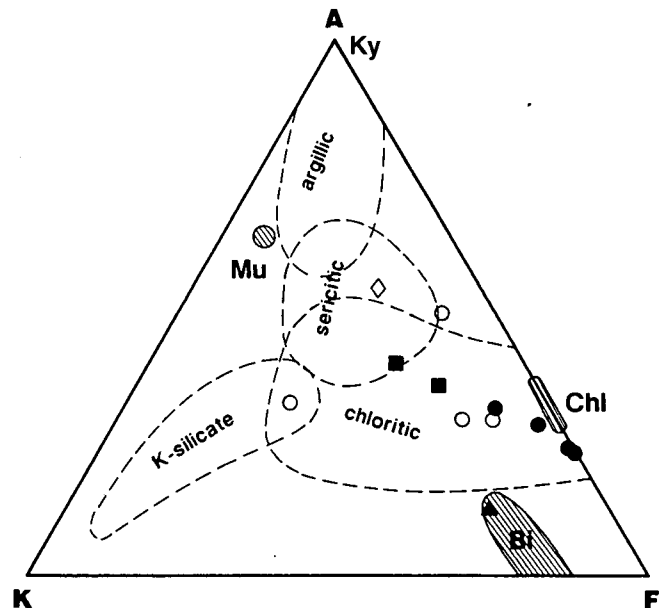


Abb. 4. A'KF-Diagramm für die analysierten Proben. Der Alterationsstil bei der Leukophyllitbildung entspricht einer Serizitisierung bzw. in einem fortgeschrittenen Stadium einer Chloritisierung. Legende siehe Tab. 1.

Tabelle 1.
Ergebnisse der Haupt- und Spurelementanalysen der untersuchten Proben.
Hauptelemente in Gew.-%; Spurenelemente in ppm; Fe_{total} als FeO.

Gestein	PR-WK-1	PR-WK-3	PR-WK-4	PR-WK-6	PR-WK-7	PR-WK-8	PR-WK-9	PR-WK-10	PR-WK-11	PR-WK-12	PR-WK-14	PR-WK-15
Symbol	Qz-Mu-Leuko	Qz-Mu-Leuko	Chl-Leuko	Chl-Leuko	Chl-Leuko	Para-gneis	Chl-Leuko	Bi-Fsp-Chl-Leuko	Para-gneis	granit-Gneis	Para-gneis	Augen-gneis
SiO ₂	75,31	75,23	33,41	39,14	58,08	64,43	62,28	52,88	62,69	76,13	70,95	73,62
TiO ₂	0,16	0,20	0,34	4,37	0,16	0,72	0,71	2,02	0,76	0,15	0,41	0,23
Al ₂ O ₃	12,32	12,72	22,40	18,15	19,17	14,98	13,79	16,17	15,96	12,79	15,56	13,59
FeO	1,08	1,46	6,34	9,50	2,53	4,88	3,22	8,45	5,32	1,34	3,01	1,51
MnO	0,00	0,00	0,03	0,05	0,01	0,08	0,03	0,04	0,11	0,01	0,07	0,04
MgO	3,69	1,92	24,00	18,12	9,45	1,66	8,36	7,34	2,76	0,27	1,55	0,38
CaO	0,15	0,18	0,22	1,16	0,11	2,83	0,64	0,85	3,33	1,53	1,87	1,01
Na ₂ O	0,45	1,25	0,13	0,06	0,26	3,57	1,14	1,08	3,34	4,10	2,55	2,85
K ₂ O	3,29	3,41	0,42	0,17	3,88	2,91	1,16	8,13	2,23	1,34	1,57	4,60
P ₂ O ₅	0,04	0,06	0,02	0,15	0,12	0,14	0,08	0,11	0,16	0,04	0,10	0,08
GV	3,12	2,24	11,63	8,42	5,57	2,52	7,67	2,80	2,25	1,82	1,72	1,65
total	99,61	98,67	98,84	99,29	99,34	98,72	99,08	99,87	98,91	99,52	99,36	99,56
Ba	204	n.b.	62	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	595	118	108	257
Sr	5	14	8	8	8	388	65	8	393	102	94	96
Rb	63	71	11	6	75	73	17	10	68	51	44	251
Zr	111	128	118	362	133	262	259	160	219	320	216	233
Nb	13	n.b.	12	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	11	16	11	15
Sc	7	6	8	45	11	16	11	33	16	9	11	7
Ni	24	39	104	84	34	57	40	142	31	8	24	13
Co	1	1	7	20	2	20	4	67	14	2	5	3
V	24	20	75	351	10	38	10	170	199	28	98	27
Th	11	12	17	2	12	5	7	1	13	28	15	30
La	36,00	34,00	5,30	79,00	30,00	8,50	27,00	32,00	13,00	40,00	6,80	23,00
Ce	94,00	76,00	15,00	157,00	70,00	52,00	38,00	98,00	39,00	89,00	39,00	59,00
Nd	13,00	20,00	96,00	53,00	18,00	73,00	37,00	43,00	33,00	19,00	46,00	37,00
Sm	8,40	7,50	0,40	28,00	8,60	5,70	6,00	5,80	6,00	7,00	6,00	5,00
Eu	0,45	0,45	0,35	4,30	0,72	1,40	0,50	0,32	0,98	0,44	0,90	0,61
Tb	2,20	1,80	3,20	5,20	3,10	0,97	1,60	1,40	0,75	1,60	0,64	0,55
Dy	12,00	9,50	20,00	24,00	18,00	4,20	9,50	7,70	5,30	13,00	4,30	3,50
Yb	6,70	4,10	11,10	6,20	9,70	2,80	5,30	6,10	2,10	8,40	3,30	2,60

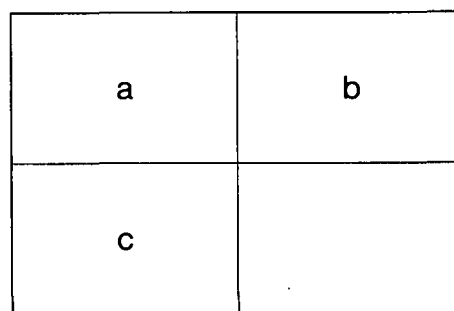
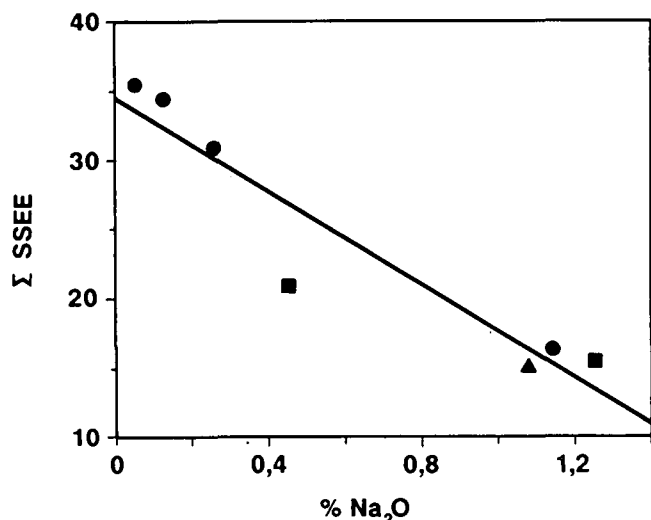
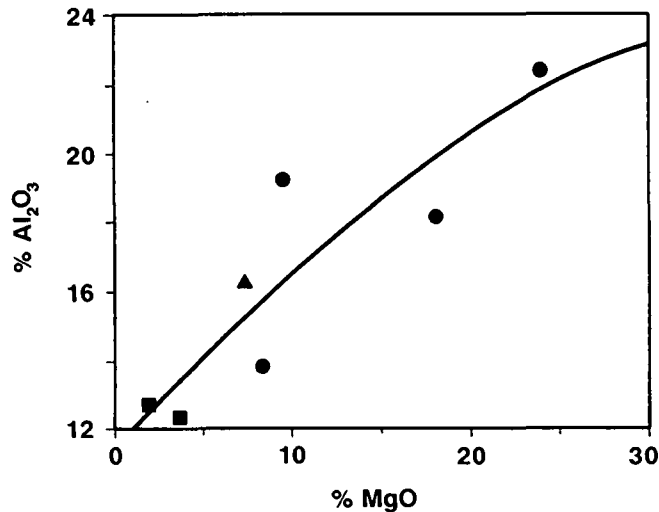
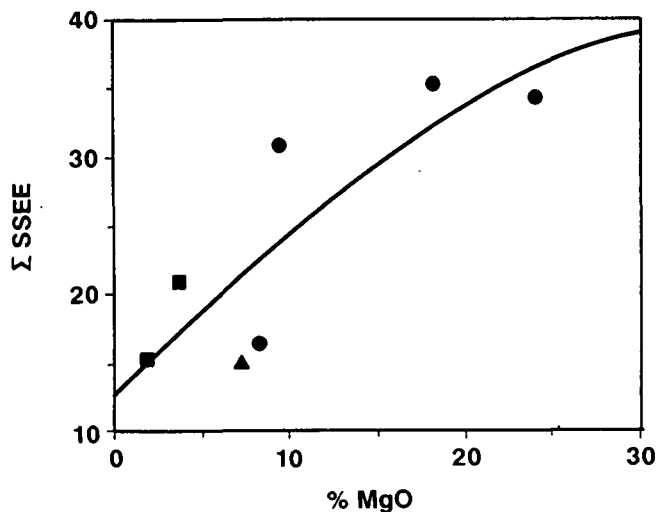


Abb. 5a,b,c.
Mit zunehmender Alteration erfolgt eine relative Anreicherung der schwer mobilisierbaren Elemente (SSEE, Al) und des Mg. Leicht mobilisierbare Elemente wie z.B. Na werden aus dem System entfernt.
Legende siehe Tab. 1.

fensichtlich waren auch die in hydrothermalen Systemen für stabil gehaltenen Elemente (MAC LEAN, 1990) einer gewissen Mobilisation unterworfen. Der quantitative chemische Transfer kann daher auch in seiner Größenordnung nicht abgeschätzt werden.

Die positive Korrelation von relativ stabilen Elementen wie Al, die SSEE und des allgemein für mobil gehaltenen Mg demonstriert aber das sehr ähnliche, wenig mobile Verhalten dieser Elemente bei der Leukophyllitbildung und der Alteration. Dementsprechend zeigen diese Elemente mit den leichter mobilisierbaren (z.B. mit Si oder Na) gute negative Korrelationen (Abb. 5a,b,c). Diese Trends sprechen eindeutig für einen Abtransport der meisten Hauptelemente im Zuge der Leukophyllitbildung, während sich die stabilen Elemente einschließlich des Al und besonders des Mg durch diesen Mechanismus anreichern.

Die alterierten Gesteine sind an Ca und Sr deutlich verarmt. Diese Elemente waren ursprünglich an die Feldspäte des Ausgangsgesteins gebunden und wurden bei der Alteration freigesetzt. Auffallend ist, daß auch bei jenen Leukophylliten, bei denen eine Albitblastese erfolgte, diese Elemente (besonders Sr) im neugebildeten Feldspat nicht mehr fixiert wurden.

4.2. Selten-Erd-Elemente

Die SEE-Analysen der Gneise sollen nur Ausgangsdaten für die Untersuchung der hydrothermalen Alteration sein.

Eine petrogenetische Interpretation zur Bildung der Gneise wird wegen der geringen Probenanzahl nicht versucht. Abb. 6a,b zeigt die Chondrit-normierten (nach BOYNTON, 1984) SEE-Verteilungsmuster der Gneise aus dem Nebengestein (Augengneis und Paragneis) und der Leukophyllite. Die SEE-Verteilungen in den nicht alterierten Gneisen aus dem Nebengestein zeigen einen deutlichen Abfall zum schweren Ende des Spektrums. Es tritt keine nennenswerte Eu-Anomalie auf ($Eu/Sm = 0,122$ bis $0,246$). Auffallend ist, daß trotz unterschiedlicher mineralogischer Zusammensetzung die SEE-Verteilung des Augengneises praktisch ident ist mit der der Paragneise. Der durchschnittliche Wert an $SSEE_{cn} (\Sigma Tb+Dy+Yb)_{cn}$ beträgt bei den Gneisen 41,7.

Eine Ausnahme bildet der granitische Paragneis aus dem Hangenden der Lagerstätte (PR-WK-12). Dieser Gneis weist bei vergleichbaren LSEE-Werten wesentlich höhere Gehalte an SSEE als die anderen Gneise auf und zeigt eine deutliche negative Eu-Anomalie ($Eu/Sm = 0,063$). Damit ist das SEE-Verteilungsmuster dieses metasomatischen Gneises sehr ähnlich dem der Leukophyllite.

In Abb. 6b ist das Chondrit-normierte Verteilungsmuster der SEE der Leukophyllite wiedergegeben. Alle untersuchten Proben aus den hydrothermal alterierten Bereichen zeigen sehr ähnliche SEE-Spektren. Die Stabilität bzw. Instabilität einzelner Mineralphasen während der hydrothermalen Umwandlung hat offensichtlich auf das Verteilungsmuster der SEE keinen so gra-

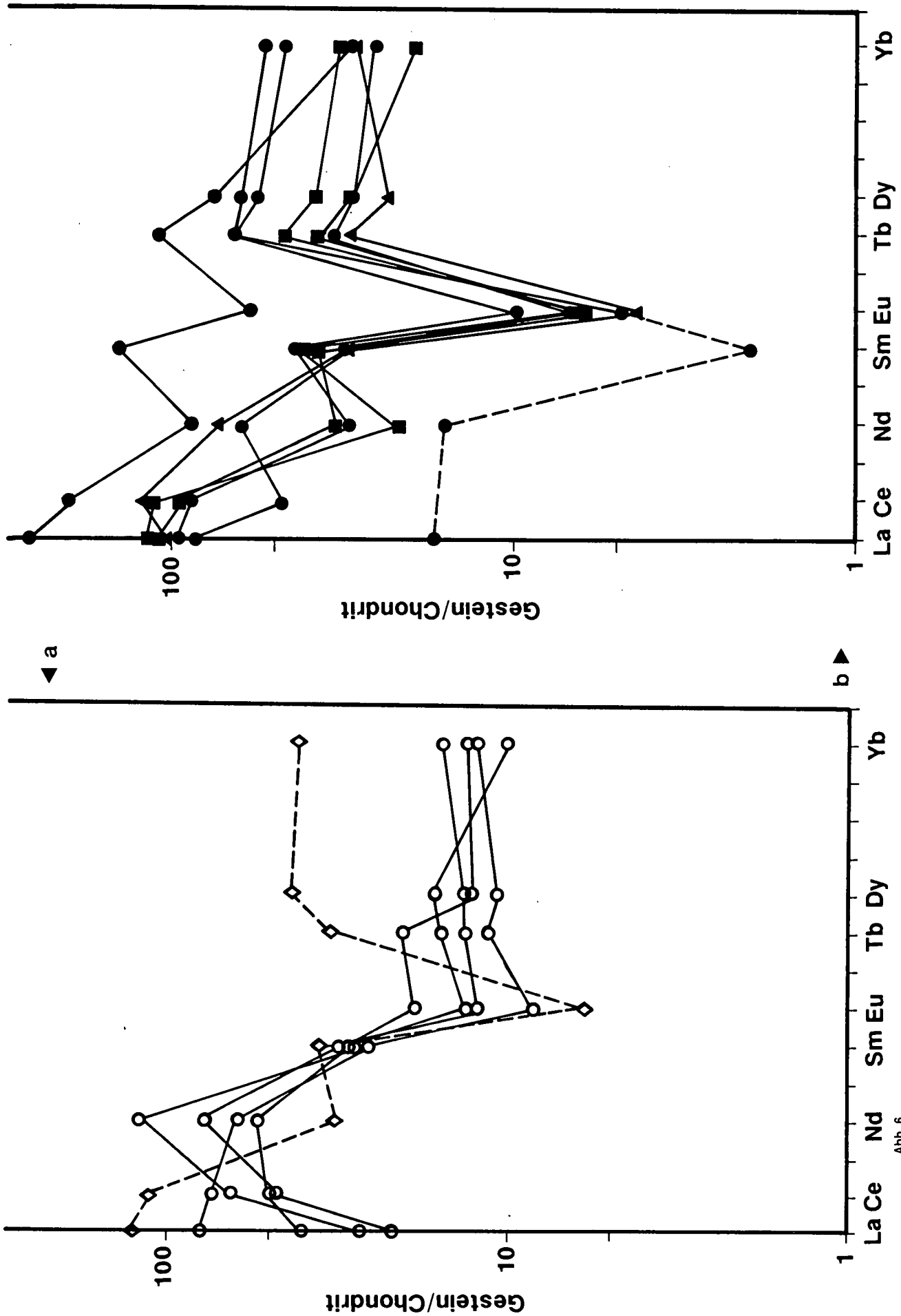


Abb. 6.

- a) Chondrit-normierte SEE-Analysen der unveränderten Nebengesteine der Leukophyllitlagerstätte. Charakteristisch sind eine steile Verteilung der LSEE und ein flacher Verlauf der HSEE. Es ist keine nennenswerte Eu-Anomalie vorhanden, die Gehalte der SSEE sind generell niedrig. Legende siehe Tab. 1.
- b) Chondrit-normierte SEE-Analysen der Leukophyllite. Im Gegensatz zu den Nebengesteinen tritt hier eine deutliche negative Eu-Anomalie auf und die Gehalte an SSEE sind 3- bis 5-fach erhöht. Legende siehe Tab. 1.

vierenden Einfluß wie im Fall der übrigen Haupt- und Spurenelemente.

Die Gehalte an LSEE (leichte Selten-Erd-Elemente) weisen im Vergleich zum Ausgangsgestein keine gravierenden Änderungen auf (Ausnahme: Probe PR-WK-4) und zeigen einen starken Abfall von La zu Sm, während die SSEE eine starke Anreicherung in den Leukophylliten erfahren. Die Gehalte an SSEE sind hier 3- bis 4-fach erhöht ($\Sigma SSEE_{cn} = 134,1$). Die am meisten alterierten, chloritreichen Gesteine sind stärker an den SSEE angereichert als die quarzreichen Leukophyllite. Das wohl auffälligste Merkmal bei dieser Probengruppe ist aber eine sehr starke negative Eu-Anomalie, die bei ausnahmslos allen untersuchten Proben zu finden ist. Bemerkenswert ist, daß diese Mobilisation und der fast totale Abtransport von Eu auch bei den feldspatführenden Albit-Chlorit-Muskovit-Gneisen zu finden ist. Das bei der Alteration aus den primären Feldspäten freigesetzte Eu^{2+} war offensichtlich bei der Albitblastese bereits aus dem System entfernt. Das Eu/Sm-Verhältnis liegt hier bei einem Mittelwert von 0,0817.

Bei der am stärksten alterierte Probe (PR-WK-4) erfolgt ein weitgehender Abtransport der LSEE zusammen mit der fast vollständigen Entfernung von Ti und P aus dem System. Daher ist Apatit als Träger der LSEE in diesem Gestein nicht mehr zu finden, die SSEE sind an den Chlorit gebunden.

Bemerkenswert im Hinblick auf petrogenetische Aussagen ist die negative Korrelation der schwer mobilisierbaren SSEE mit Na als mobilem Element. Auch hier reichern sich die SSEE mit zunehmender Intensität der Alteration (Entfernung des Na) zusammen mit Mg relativ zum Nebengestein an.

5. Ergebnisse und Diskussion

Die Leukophyllitbildung in der Lagerstätte Kleinfelstritz ist das Ergebnis einer hydrothermalen Alteration in einer etwa 20 m mächtigen horizontal liegenden Störungszone altalpidischen (?) Alters. Die vertikalen, Sulfid-führenden Störungen in diesem Abschnitt des ostalpinen Kristallins wie z. B. die ehemalige Gold-Arsenik-lagerstätte im Kothgraben nahe der Leukophyllitlagerstätte dürften auf jüngere Hebungen und vertikale Bewegungen zurückzuführen sein.

Die Leukophyllitbildung resultiert in den meisten Fällen in einer vollständigen Rekrystallisation. Sie entspricht einer Serizitisierung bzw. in einem fortgeschrittenen Stadium einer Chloritisierung. Die Paragenese der Leukophyllite besteht aus Quarz, Muskovit, Chlorit, Albit, Apatit, Rutil und Disthen, wobei bei fortschreitender Alteration die modalen Anteile an Quarz und Muskovit abnehmen, während der Chloritgehalt zunimmt. Im Fall der hellen, offensichtlich weniger alterierten Leukophyllite sind noch zwei Schieferungen zu erkennen, bei den chloritreichen Typen erfolgte eine totale Umschieferung.

Die Elemente P, Ti und Zr (gebunden an Apatit, Rutil und Zirkon) reichern sich offensichtlich während der Alteration aufgrund ihrer geringen Mobilität bis zu einem gewissen Maß an (Probe PR-WK-6) und werden bei extrem starker hydrothermalen Beeinflussung instabil und mobilisiert (Apatitreichum der teilweise alterierten Paragneise). In den daraus resultierenden sehr Al-reichen Gesteinen (z. B. Probe PR-WK-4) tritt Disthen auf, wäh-

rend es zu einem weitgehenden Verschwinden von Apatit, Rutil und Zirkon kommt. Die Disthenblastese in den Weißschiefern wird in der Literatur wiederholt auf die relative Al-Anreicherung zurückgeführt (z. B. EXNER, 1957). Quarz tritt hier nicht mehr auf. Von dieser extremen Mobilisation sind also auch die „stabilen“ Elemente P, Ti und Zr und besonders die LSEE betroffen.

Es gibt nur wenige Arbeiten über das Verhalten der SSEE unter hydrothermal-metamorphen Bedingungen. Es wird aber allgemein angenommen, daß die SSEE von F- oder CO_2 -reichen Fluids mobilisiert werden, die LSEE aber bevorzugt von chloridischen Lösungen transportiert werden (FLYNN & BURNHAM, 1977; TAYLOR & FRYER, 1980; etc.). Letztere Möglichkeit trifft wahrscheinlich auf die hier beschriebene Situation zu.

Der Abtransport von Si, Fe, Ca, Na und Sr und die Anreicherung der stabileren Elemente sind durch das Instabilwerden von Biotit, Granat und Feldspat zu erklären. Gleichzeitig können diese Elemente nicht in vollem Ausmaß in die sich neubildenden Minerale eingebaut werden. Es scheint ferner eine gewisse Zeitspanne zwischen dem Zusammenbrechen der ursprünglichen Paragenese und der Albitblastese sowie der Rekrystallisation der heute vorliegenden Paragenese in den Leukophylliten geherrscht zu haben, da weder Sr noch Eu in die neugebildeten Feldspäte in nennenswertem Umfang eingebaut wurden. Das freigesetzte Eu^{2+} wurde während der Alteration nicht zu Eu^{3+} oxidiert, da es sonst in die neugebildeten Hellglimmer eingebaut worden wäre, oder es wurde, wie oben erwähnt, vor der Rekrystallisation der Glimmer aus dem System entfernt.

Das kohärente Verhalten der stabilen Elemente Al, SSEE mit dem Mg läßt die relative Anreicherung dieser Elemente durch den Abtransport der anderen Hauptkomponenten sehr wahrscheinlich erscheinen. Da Mg aber überproportional stark angereichert ist, kann eine hydrothermale Zufuhr dieses Elements gleichsam mit der hier beschriebenen relativen Anreicherung nicht ganz ausgeschlossen werden. Als Mg-Quelle kämen in diesem Fall tieferliegende Amphibolite in Frage, oder das Mg wird bei der Chloritisierung der Biotite im Nebengestein frei, wobei aber noch zu prüfen wäre, ob letztgenannter Vorgang überhaupt Mg freisetzt. LSEE, Eu^{3+} , Ca, Sr etc. aus externen Quellen waren in diesen hydrothermalen Lösungen jedenfalls nicht in nennenswertem Umfang verfügbar, da sie sonst in die neugebildeten Hellglimmer bzw. Feldspäte eingebaut worden wären.

Zur Zeit ist eine Untersuchung der O-Isotope an separierten Mineralphasen aus diesen Leukophylliten im Gange. Die ersten Ergebnisse weisen auf Temperaturen von 460°C während der Leukophyllitisierung hin (BECHTEL, mündl. Mitt.).

Dank

Der Verfasser dankt Herrn Dipl.-Ing. H. THALLER (Naintsch Mineralwerke Ges.m.b.H.) für die Ermöglichung zahlreicher Grubenbefahrungen. Diese Arbeiten wurden im Rahmen des IGCP-Projektes 291 „Metamorphic Fluids and Mineral Deposits“ durchgeführt und vom Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (Projekt Nr. P7805-GEO) sowie von der Rohstoffkommission der Österreichischen Akademie der Wissenschaften finanziell unterstützt.

Literatur

- ALDERTON, D.H.M., PEARCE, J.A. & POTTS, P.J.: Rare earth element mobility during granite alteration: evidence from southwest England. – *Earth and Planetary Science Letters*, **49**, 149–165, Amsterdam 1980.
- BECKER, L.P.: Zum geologischen und tektonischen Aufbau des Stubalpenzuges (Stmk.) mit einem Vergleich seiner Position zur NE-Saualpe (Ktn.). – *Carinthia II*, **87**, 113–125, Klagenfurt 1977.
- BECKER, L.P.: Geologische Karte der Republik Österreich 1 : 50.000, 162 Köflach. – Geol. B.-A., Wien 1979.
- BOROVICZÉNY, F. & ALKER, A.: Das Leukophyllitvorkommen von Kleinfestritz bei Weißkirchen, Steiermark. – *Mineral. Mitt. blatt Joanneum*, **2**, 37–43, Graz 1961.
- BOYNTON, W.V.: Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. – In: HENDERSON, P. (ed.): *Developments in Geochemistry*, 63–114, Oxford (Elsevier) 1984.
- CORNELIUS, H.P. & CLAR, E.: Geologie des Großglocknergebets. – *Abh. d. Zweigst. Wien Reichsstelle f. Bodenfor-schung*, **25/1**, 305 p., Wien 1939.
- EXNER, Ch.: Erläuterungen zur geologischen Karte der Umge-bung von Gastein. – *Geol. B.-A.*, Wien 1957.
- FAZEKAS, V., KOSA, L. & SELMECZI, B.: Ritkaföldfém ásványoso-dás a Soproni-hegység kristályos paláiban. – *Földtani Köz-lönyy, Bull. of the Hungarian Geol. Soc.*, **105**, 297–308, 1975.
- FLÜGEL, H.W. & NEUBAUER, F.: Steiermark, Erläuterungen zur Geologischen Karte der Steiermark 1 : 200.000. – 127 p., Wien 1984.
- FLYNN, R.T. & BURNHAM, C.W.: An experimental determination of rare-earth partition coefficients between a chloride containing vapour phase and a silica melt. – In: DRAKE, M.J. & HOLLOWAY, J.R. (eds.): *Experimental trace element geoche-mistry*, 185–701, Oxford (Pergamon Press) 1977.
- FRANK, W., KLEIN, P., NOWY, W. & SCHARBERT, S.: Die Datie-rung geologischer Ereignisse im Altkristallin der Gleinalpe (Steiermark) mit der Rb/Sr-Methode. – *T.M.P.M.*, **23**, 191–203, Wien 1976.
- HADITSCH, J.G. & LASKOVIC, F.: Neues über den Weißschiefer von Kleinfestritz (Steiermark). – *Archiv f. Lagerst.forsch. i.d. Ostalpen*, **14**, 113–118, Leoben 1973.
- HERITSCH, H. & TEICH, T.: Zur Genese des Augengneiszuges von der östlichen Gleinalpe in die westliche Stubalpe. – *Anz. Österr. Akad. Wiss., math.-naturw. Kl.*, **112** (1975), 115–119, Wien 1976.
- KIESL, W., WIESENER, H. & KLUGER, F.: Untersuchungen des Vorkommens der Seltenen Erden und von Thorium in Ge-steinen des unterostalpinen Kristallins des Semmering-Wechselfensters. – *Sitz.ber. Österr. Akad. Wiss., math.-na-turw. Kl. 1*, **192**, 1–20, Wien 1983.
- KUZVART, M.: *Industrial minerals and rocks. – Developments in Econ. Geol.*, **18**, 454 p., Amsterdam (Elsevier) 1984.
- LELKES-FELVARI, G., SASSI, F.P. & VISONA, D.: On the genesis of some leuchtenbergite-bearing metamorphic rocks and their phase-relations. – *Rend. Soc. It. Mineral. Petrol.*, **38**, 607–615, Padua 1983.
- MAC LEAN, W.H.: Mass change calculations in altered rock se-ries. – *Mineral. Deposita*, **25**, 44–49, Heidelberg 1990.
- MODJTAHEDI, M. & WIESENER, H.: Entstehung und Zusam-mensetzung der Leukophyllite (Weißschiefer) in den Ostal-pen. – *Archiv f. Lagerst.forsch. i. d. Ostalpen, Sdb.* **2**, 189–213, Leoben 1974.
- MOREAU, Ph.: Le massif du Rabenwald (Autriche) et ses miné-ralisations (Talc, Chlorite, Disthène, Leucophyllite). – Thèse présentée à la faculté des sciences et des techniques de l'Université de Franche-Comté, 327 p., Besançon 1981.
- NEUBAUER, F.: Bau und Entwicklungsgeschichte des Rennfeld-Mugel- und des Gleinalm-Kristallins (Ostalpen). – *Abh. Geol. B.-A.*, **42**, 5–137, Wien 1988.
- PROCHASKA, W.: Ein Paragonitschiefer vom Schloffereck bei Birkfeld (Stmk.). – *Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark*, **115**, 31–35, Graz 1985.
- PROCHASKA, W.: Talk- und Leukophyllitbildung als Folge hy-drothormaler Metasomatose. – *Mitt. österr. Geol. Ges.*, **768** (1985), 167–179, Wien 1986.
- PROCHASKA, W.: Geochemistry and genesis of Austrian talc deposits. – *Applied Geochemistry*, **4**, 511–525, Oxford 1989.
- SCHREYER, W.: Weißschiefer, ein neuer Typ von Hochdruckme-tamorphit und seine petrologisch geologische Bedeutung. – *Fortschr. Miner.*, **51**, 37–38, Stuttgart 1974.
- SEIFERT, F.: X-ray powder data for Mg-Al-celadonite (Leuko-phyllite) from Barcza, Poland. – *Contr. Mineral. Petrol.*, **19**, 93–96, Berlin 1968.
- STARKL, G.: Über neue Mineralvorkommnisse in Österreich. – *Jb. k.k. Geol. Reichsanst.*, **23**, 635–658, Wien 1883.
- TAYLOR, R.P. & FRYER, B.J.: Multiple-stage hydrothermal al-teration in porphyry copper systems in northern Turkey: The temporal interplay of potassic, pyrolytic, and phyllic fluids. – *Canadian Jour. Earth Sci.*, **178**, 901–926, 1980.
- VENDEL, M.: Über die Genese der „Leukophyllite“. – *T.M.P.M.*, **17**, 76–100, Wien 1972.

Manuskript bei der Schriftleitung eingelangt am 9. August 1990.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt](#)

Jahr/Year: 1991

Band/Volume: [13](#)

Autor(en)/Author(s): Prochaska Walter

Artikel/Article: [Leukophyllitbildung und Alteration in Scherzonen am Beispiel der Lagerstätte Kleinfieistriz \(Steiermark\) 111-122](#)