

# LAGERSTÄTTENKUNDLICHE UNTERSUCHUNGEN ZUR ENTSTEHUNG DER LEUKOPHYLLITE

von W. PROCHASKA

## EINLEITUNG

Seit vielen Jahrzehnten wird in Österreich ein mineralischer Rohstoff bergmännisch gewonnen, der in seinen vielfältigen Anwendungsbereichen mit jenen der Industrieminerale Talk bzw. Kaolin vergleichbar ist, sich aber von den genannten Stoffen mineralogisch wesentlich unterscheidet, und für welchen Namen wie "Weißschiefer", "Weißerde", Glimmertalkum" oder "Leukophyllit" in Gebrauch sind.

Das österreichische Berggesetz (1975) reiht den Leukophyllit unter die bergfreien mineralischen Rohstoffe, doch werden die jährlichen Fördermengen in der amtlichen Statistik (Österreichisches Montan-Handbuch) in die Produktionsdaten von Kaolin bzw. Talk inkludiert.

Obwohl der Begriff "Leukophyllit" in der petrographischen Nomenklatur nur sehr unzureichend definiert ist, wird er sehr häufig 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. beobachteten. 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 hydrothermaler 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.

- a: Metasomatische Entstehung durch umfangreichen Stoffaustausch wie Abtransport von Na, K, Ca, Fe etc. und Mg-Zufuhr von meist nicht näher definierten Quellen (VENDEL 1972, MODJTAHEDI und WIESENEDER 1974, MOREAU 1981).
- b: Relative Anreicherung von Mg durch Abtransport anderer Hauptelemente in Scherzonen. Bei der Phyllonitisierung der Granitgneise werden Na, Ca, Fe und teilweise auch SiO<sub>2</sub> 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 Ausgangsgesteine 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-Quarzgesteine 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).

Im Zuge der vorliegenden Arbeit wurden nun die petrographischen und geochemischen Vorgänge bei der Leukophyllitbildung anhand mehrerer Vorkommen untersucht (Abb.1). Die Probenahme konzentrierte sich dabei auf die in Betrieb stehende Leukophyllitlagerstätte Kleinfestritz und auf ein großes unverritztes Vorkommen bei Vorau (beide Steiermark). Zu Vergleichszwecken wurden leukophyllitähnliche Bildungen in den Alterationsbereichen der Tauerngoldgänge untersucht. Es handelt sich dabei um Bleichungszonen im Zentralgneis von mehreren Metern Mächtigkeit in unmittelbarer Nachbarschaft der Gold-Quarzgänge.

## GEOGRAPHISCHE UND GEOLOGISCHE POSITION DER LEUKOPHYLLITLAGERSTÄTTE KLEINFEISTRITZ

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. 2). 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 1:50000 von BECKER (1979) weist Paragneis im Liegenden der Lagerstätte aus, weiters 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 Verflächen 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 und 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 und 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 amphibolitfazieller Metamorphose, Migmatitbildung und syn- bis post-orogenen 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.

## **GEOGRAPHISCHE UND GEOLOGISCHE POSITION DES LEUKOPHYLLITVORKOMMENS VON VORAU**

Das untersuchte Vorkommen befindet sich auf Blatt 136 Hartberg der ÖK 1:50000. Die Aufschlüsse liegen in der Nähe von Vornau ca. 300 m bachaufwärts vom Gehöft Franzel in der Mühl. Die Leukophyllite sind durch einen Seitenbach des Weißenbachs auf eine Länge von etwa 200 m aufgeschlossen.

Die geologische Stellung dieses Leukophyllitvorkommens ist der Grenzbereich des Waldbachkristallins und des tektonisch hangenden Raabalpenkristallins. Die prägende Metamorphose dieser Kristallinblöcke erfolgte präalpidisch, die hier untersuchte Leukophyllitbildung stellt allerdings eine völlige Überprägung und Rekristallisation dieses variszischen Mineralbestandes entlang flachliegender Scherzonen während des Frühalpidikums dar.

Die Leukophyllite dieses Aufschlusses sind im Hangenden von Orthogneisen granitischer Zusammensetzung begrenzt, im Liegenden treten Paragneise auf. Die Leukophyllitlage selbst zeigt ein sehr flaches Einfallen (ca. 5°) nach W, die wahre Mächtigkeit ist deshalb nur ungenau abzuschätzen und dürfte ca. 20 bis 50 m betragen. Das Ausgangsgestein für diese Leukophyllite dürften hauptsächlich die hangenden Orthogneise gewesen sein. Umwandlungen von Paragneisen sind nur selten zu beobachten.

#### **GEOLOGISCHE POSITION DER ALTERATIONEN AN DEN TAUERNGOLDGÄNGEN**

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Bleichungszonen und Alterationen an den Tauerngoldgängen im Raum Gastein/Rauris untersucht. Die Probennahme erfolgte sowohl im Imhof-Stollen als auch übertage an denselben Gängen im Bereich Bockart-See und Silberpfennig.

Die goldführenden Arsenkies-Quarzgänge sitzen im Zentralgneis (hier "Siglitzgneis") auf und zeigen eine sehr einheitliche Streichrichtung nach NNE. In ihren höheren Anteilen greifen die Gänge aber auch in die Schieferhülle über. Mit diesem lithologischen Wechsel der Nebengesteine erfolgt auch eine drastische Änderung der Erzparagenese. Die Erze werden silberhältig, hauptsächlich treten nun Bleiglanz und Zinkblende auf. Aufgrund der diskordanten Lagerung und der deutlichen Ausbildung einer postmetamorphen Alterationszone wird das jungalpidische Alter dieser Gänge in der Literatur kaum in Frage gestellt.

## PETROGRAPHISCHE BESCHREIBUNG DER LEUKOPHYLLITE

### Kleinfestritz

#### Hydrothermal alterierte Gesteine

In der Lagerstätte Kleinfestritz entspricht die Bildung der Leukophyllite 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 Phyllonite (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 Chlorit-reichen 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.

#### Quarz-Chlorit-Muskovit-Schiefer

Dieser Typus ist quantitativ der bei weitem bedeutendste. Die zahlreichen Leukophyllite am Alpenostrand (auch die hier beschriebenen von Vorau) gehören dazu.

Ein deutliches Kennzeichen dieses helleren Typs von Leukophylliten in der Lagerstätte Kleinfestritz 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, hellen Gneis mit ausgeprägter Feldspatblastese (Albit-Chlorit-Muskovit-Gneis) gekennzeichnet. Die Mächtigkeit dieser Übergangszonen 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 Chlorit-reichen Lagen gebunden, wo die Zirkone pleochroitische Höfe hervorrufen. Apatit tritt ebenfalls sehr häufig auf.

### 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 allerdings gänzlich in diesem Typus der Chloritschiefer.
- 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 % betragen.

#### 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 Zwillingslamellen. Typisch für diese Feldspäte ist ein serizitisierte, 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.

## 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 idioblastische Gestalt auf und ist von postkristallinen späten Klüftchen durchzogen, die von feinschuppigem Serizit gefüllt sind. Neubildungen sind Muskovit, Serizit, Chlorit und besonders eine sehr auffällige Neusprossung von Apatit, der ein Hauptgemengteil in diesem Gestein ist Apatit (bis zu 15%!).

## Die nicht alterierten Nebengesteine der Lagerstätte

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.

## Vorau

### Leukophyllite

Bei den Leukophylliten von Vorau tritt nur ein Typ auf. Es handelt sich dabei um Muskovit-Quarzgesteine, die mit den

oben beschriebenen hellen, quarzreichen Leukophylliten aus Kleinfeldstritz ident sind. Es wird daher auf eine detaillierte petrographische Beschreibung verzichtet und auf die Quarz-Chlorit-Muskovitschiefer von Weißkirchen verwiesen. Auch hier treten als Hauptkomponenten Quarz und Muskovit auf, untergeordnet findet man Chlorit und Disthen.

### Nebengestein (Grobgneise)

Unter dem Mikroskop zeigt der Granitgneis aus dem unmittelbar Liegenden der Leukophyllitlage bereits Anzeichen einer retrograden Überprägung. Zur primären, metamorphen Paragenese gehören perthitische Kalifeldspate mit Wachstumseinschlüssen von Quarz und Plagioklas, Biotit und Plagioklas (Oligoklas), der typischerweise von Seriziten gefüllt ist. Charakteristisch für die retrograde Überprägung im Zuge der Leukophyllitbildung sind Hellglimmerlagen, in denen gehäuft Epidotneubildungen auftreten. Eine deutliche Chloritisierung der Biotite und die Serizitisierung der Plagioklase gehören ebenfalls zu diesem retrograden Ereignis.

### **Tauerngoldgänge**

Bei den hier untersuchten Gesteinen handelt es sich um Alterationserscheinungen, die die Quarzgänge typischerweise begleiten. Das Ausmaß dieser hydrothermalen Bleichungen ist unterschiedlich, beträgt aber häufig einige Meter.

Die Begleitgesteine der Tauerngoldgänge sind zum Unterschied von den "echten" Leukophylliten nicht immer vollständig rekristallisiert, der Grad der Umkristallisation hängt von der Entfernung zum Erzgang ab. Deutlich sind hier zwei Generationen von Hellglimmern zu bemerken. Feinschuppiger Serizit bildet sich hauptsächlich aus den Feldspaten, die detritären großen Glimmer sind nur randlich serizitisiert und gehören zur ursprünglichen, metamorphen und nicht von der Alteration beeinflussten Paragenese. Ein weiterer Unterschied zu den Leukophylliten im oben beschriebenen Sinn besteht auch im wesentlich geringeren Grad der Durchbewegung, es sind häufig noch Formrelikte von Serizitpseudomorphosen nach Feldspat zu erkennen.

## GEOCHEMISCHE UNTERSUCHUNGEN

Aufgrund des umfangreichen Probenmaterials und der oben beschriebenen Identität der hellen Leukophyllite aus Weißkirchen mit denen von Vorau konzentrierten sich die chemischen Untersuchungen im wesentlichen auf die Leukophyllite von Weißkirchen. Die Analyseergebnisse sind in den beiliegenden Tabellen aufgelistet.

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.

### Haupt- und Spurenelemente

Die Ergebnisse repräsentativer Haupt- und Spurenelemente von Leukophylliten und von den Nebengesteinen der Lagerstätte sind in beiliegenden Tabellen aufgelistet. Generell kann festgestellt werden, daß alle Elemente (auch die "stabilen Elemente") einer unterschiedlich starken Mobilisation unter-

worfen waren. Die chemische Zusammensetzung der analysierten Proben ist im Dreieck  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-MgO-K}_2\text{O}$  (bzw.  $\text{Na}_2\text{O}$ ) dargestellt. Die Projektionspunkte der Analysen der Leukophyllite liegen auf der Linie Chlorit-Muskovit (Paragonit) bzw. im Disthenfeld (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. Offensichtlich 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 (Abb.5, 6a, 6b). Dementsprechend zeigen diese Elemente mit den leichter mobilisierbaren (z.B. mit Si oder Na) gute negative Korrelationen. 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.

## 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, 6b zeigen die Chondrit-normierten (nach BOYNTON 1984) SEE-Verteilungsmuster der Gneise aus dem Nebengestein (Augengneis und Paragneise) 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 ( $\text{Eu/Sm} = 0,122$  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  $\text{SSEE}_{\text{cn}} (\sum \text{Tb} + \text{Dy} + \text{Yb})_{\text{cn}}$  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 ( $\text{Eu/Sm} = 0,063$ ). 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 gravierenden 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 ( $\sum \text{SSEE}_{\text{cn}} = 134,1$ ). 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  $\text{Eu}^{2+}$  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 alterierten Probe (PR-WK-4) erfolgte 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 in 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.

## **ERGEBNISSE UND DISKUSSION**

### **Kleinfestritz und Voralp**

Detaillierte geologisch-petrographische Bearbeitungen der Leukophyllitlagerstätte Weißkirchen wurden von BOROVIČZÉNY und ALKER (1961), HADITSCH und 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. Das wichtigste lagerstättenkundlich-genetische Problem ist daher die Frage, ob Mg zugeführt wird und wie die Mg-Anreicherung zustande kommt.

Die Leukophyllitbildung in der Lagerstätte Kleinfestritz 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-Arsenkieslagerstätte im Kothgraben nahe der Leukophyllitlagerstätte dürften auf jüngere Hebungen und vertikale Bewegungen zurückzuführen sein.

Die Leukophyllitbildung resultiert in den meisten Fällen in einer vollständigen Rekristallisation. 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 (Apatitreichtum der teilweise alterierten Paragneise). In den daraus resultierenden sehr Al-reichen Gesteinen (z.B. Probe PR-WK-4) tritt Disthen auf, während 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 SEE unter hydrothermal-metamorphen Bedingungen. Es wird aber allgemein angenommen, daß die SSEE von F- oder CO<sub>2</sub>-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 Rekristallisation 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  $\text{Eu}^{2+}$  wurde während der Alteration nicht zu  $\text{Eu}^{3+}$  oxidiert, da es sonst in die neugebildeten Hellglimmer eingebaut worden wäre, oder es wurde, wie oben erwähnt, vor der Rekristallisation 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 gemeinsam 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,  $\text{Eu}^{3+}$ , 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  $460^{\circ}\text{C}$  während der Leukophyllitisierung hin (PROCHASKA et al., im Druck).

## WIRTSCHAFTLICHE ÜBERLEGUNGEN

### Weißkirchen

Die oben ausgeführten Ergebnisse zur Genese der Lagerstätte Weißkirchen bedeuten, daß die Leukophyllitbildung ausschließlich tektonisch kontrolliert wird und weder an bestimmte Lithologien noch an spezielle hydrothermale Milieus gebunden ist. Voraussetzung für eine Lagerstättenbildung ist hier eine synmetamorphe Anlage von Scherbahnen unter Bedingungen der oberen Grünschieferfazies. Es ist anzunehmen, daß

diese ausgeprägte Scherzone eine weitere regionaler Verbreitung aufweist. Die Verwerfung, die bis dato das Ende der Lagerstätte markiert, bedingt sicherlich nur eine Versetzung der Lagerstätte in abschiebende Richtung. Die Aussichten, jenseits des Verwerfers die Fortsetzung der Lagerstätte zu finden, sind sicherlich sehr groß.

### Vorau

Soweit quantitative Aussagen ausschließlich von obertägigen Aufschlüssen getroffen werden können, weist das Vorkommen von Vorau sicherlich ein großes wirtschaftliches Potential auf. Die Mächtigkeit der Leukophyllite liegt hier zumindest im selben Bereich wie in der Lagerstätte Weißkirchen, und auch der Gesteinstypus ist ident. Das flache Einfallen und die nicht allzugroße Überlagerung lassen eine tagebaumäßige Gewinnung bis zu einem gewissen Maße für möglich erscheinen. Als weiterführende Untersuchungen müßten hier Aufbereitungsversuche und Bohrungen zur näheren quantitativen Erfassung des Lagerstätteninhalts durchgeführt werden.

### Tauerngoldgänge

Die Bleichungszonen an den Tauerngoldgängen sind aus qualitativen und quantitativen Gründen für wirtschaftliche Nutzung sicherlich ohne Bedeutung.

## LITERATURVERZEICHNIS

**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.

**BOROVICZÉNI, 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*. Elsevier, 63-114, Oxford 1984.

**CORNELIUS, H.P. & CLAR, E.:** Geologie des Großglocknergebietes. - *Abh. d. Zweigst. Wien Reichsstelle f. Bodenfor-*schung, **25/1**, 305 p., Wien 1939.

**EXNER, Ch.:** Erläuterungen zur geologischen Karte der Umgebung von Gastein. - *Geol. B.-A.*, Wien 1957.

**FAZEKAS, V., KOSA, L. & SELMECZI, B.:** Ritkaföldfém ásványosodás a Soproni-hegység kristályos paláiban. - *Földtani Közlöny, 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. and HOLLOWAY, J.R. (eds.), Experimental trace element geochemistry. Pergamon Press, 185-701, Oxford 1977.

**FRANK, W., KLEIN, P., NOWY, W. & SCHARBERT, S.:** Die Datierung geologischer Ereignisse im Altkristallin der Gleinalpe (Steiermark) mit der Rb/Sr-Methode. - *TMPM*, **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.-naturwiss. Kl.*, **112** (1975), 115-119, Wien 1976.

**KIESL, W., WIESENER, H. & KLUGER, F.:** Untersuchungen des Vorkommens der Seltenen Erden und von Thorium in Gesteinen des unterostalpinen Kristallins des Semmering-Wechselseifers. - *Sitzungsber. Österr. Akad. Wiss., Mathem.-naturw. Kl. I*, **192**, 1-20, Wien 1983.

**KUZVART, M.:** Industrial minerals and rocks. - *Developments in Econ. Geol.*, **18**, Elsevier, 454 p., Amsterdam 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 series. - *Mineral. Deposita*, **25**, 44-49, Heidelberg 1990.

**MODJTAHEDI, M. & WIESENER, H.:** Entstehung und Zusammensetzung der Leukophyllite (Weißschiefer) in den Ostalpen. - *Archiv f. Lagerstättenforsch. i. d. Ostalpen*, **Sdb. 2**, 189-213, Leoben 1974.

**MOREAU, Ph.:** Le massif du Rabenwald (Autriche) et ses minéralisations (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 hydrothermalen Metasomatose. - Mitt. österr. Geol. Ges., **78** (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 Hochdruck-metamorphit und seine petrologisch geologische Bedeutung. - Fortschr. Miner., **51**, 37-38, Stuttgart 1974.

**SEIFERT, F.:** X-ray powder data for Mg-Al-celadonite (leukophyllite) 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 alteration in porphyry copper systems in northern Turkey: The temporal interplay of potassic, pyrolytic, and phyllic fluids. - Canadian Jour. Earth Sci., **17**, 901-926, 1980.

**VENDEL, M.:** Über die Genese der "Leukophyllite". - TMPM, **17**, 76-100, Wien 1972.

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Geologische Kartenskizze von Österreich mit den Untersuchungsgebieten.

Abb. 2: Geologische Kartenskizze der Umgebung der Leukophyllitlagerstätte Weißkirchen.

Abb. 3: Zusammensetzung der analysierten Proben im  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{MgO}$ - $\text{K}_2\text{O}$  bzw.  $\text{Na}_2\text{O}$ -Diagramm. Mit zunehmender Alteration nähert sich die Zusammensetzung dem Chlorit-Projektionspunkt. Legende siehe Tab. 1.

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

Abb. 5: Die positive Korrelation von Mg und Al spricht für eine relative Anreicherung dieser beiden an sich nicht leicht mobilisierbaren Elemente. Legende siehe Tab. 1.

Abb. 6a: Chondrit-normierte SEE-Analysen der unveränderten Nebengesteine der Leukophyllitlagerstätte. Charakteristisch sind eine steile Verteilung der LSEE und ein flacher Verlauf der SSEE. Es ist keine nennenswerte Eu-Anomalie vorhanden, die Gehalte der SSEE sind generell niedrig. Legende siehe Tab. 1.

Abb. 6b: 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.

### Adresse des Autors:

Univ. Doz. Dr. Walter Prochaska  
 Institut für Geowissenschaften  
 Montanuniversität  
 A-8700 Leoben

Tab.1: Ergebnisse der Haupt- und Spurenelementanalysen der untersuchten Proben.  
Hauptelemente in %, Spurenelemente in ppm, Fe total als FeO.

	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
Gestein	Qz-Mu-Leuko	Qz-Mu-Leuko	Chl-Leuko	Chl-Leuko	Chl-Leuko	Paragneis	Chl-Leuko	Bi-Fsp-Chl-Leuko	Paragneis	granit.-Gneis	Paragneis	Augen-gneis
Symbol	■	■	●	●	●	○	●	▲	○	◇	○	○
SiO <sub>2</sub>	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 <sub>2</sub>	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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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 <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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

Fortsetzung von Tab. 1.

Probe	PR-WK-20	PR-WK-21	PR-WK-22	PR-WK-23	PR-WK-24	PR-WK-25	PR-WK-26	PR-WK-27	PR-WK-28	PR-WK-29	PR-WK-30a	PR-WK-30b
Gestein	Orthogneis	Qz-Mu-Leuko	Qz-Mu-Leuko	Qz-Mu-Leuko	Phlog.-Schiefer	Qz-Mu-Leuko	Chl-Leuko	Qz-Mu-Leuko	Chl-Mu-Leuko	Chl-Leuko	Paragneis	Paragneis
Si O <sub>2</sub>	78,76	78,31	76,30	74,65	42,40	79,77	41,67	71,97	53,37	28,13	55,39	56,09
Ti O <sub>2</sub>	0,17	0,14	0,16	0,16	0,13	0,14	6,37	0,15	0,89	0,22	1,09	0,90
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,39	13,24	13,15	13,04	13,53	13,23	17,12	14,27	19,99	23,29	18,52	16,83
FeO	0,98	1,06	1,19	1,41	7,81	0,59	5,79	1,40	4,31	9,57	7,72	9,02
MnO	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00	0,01	0,08	0,07	0,08
MgO	0,76	1,62	3,36	5,42	22,19	1,18	21,05	5,72	11,11	27,38	4,53	5,49
CaO	0,44	0,34	0,00	0,00	0,21	0,12	0,00	0,00	0,31	0,00	4,56	4,24
Na <sub>2</sub> O	4,63	0,53	0,00	0,00	0,00	0,52	0,00	0,00	0,63	0,00	3,23	2,50
K <sub>2</sub> O	1,23	3,15	2,84	2,27	7,38	2,70	0,17	2,51	2,40	0,37	0,36	0,34
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,05	0,05	0,04	0,05	0,01	0,06	0,02	0,03	0,13	0,03	0,58	0,34
GV	0,95	1,52	2,82	3,52	6,42	1,12	6,61	3,22	5,78	11,51	3,65	4,31
total	100,36	99,97	99,69	100,52	100,10	99,43	98,83	99,27	98,93	100,58	99,70	100,14
Ba	48	250	182	142	42	138	-	260	311	67	53	81
Sr	17	17	4	4	8	50	-	8	136	2	394	304
Rb	60	110	76	64	547	71	11	70	63	15	21	29
Zr	112	92	98	104	5	99	377	109	255	139	161	144
Nb	13	11	11	14	3	9	32	8	13	13	15	7
Sc	5	5	6	4	5	4	6	6	14	5	22	38
Ni	3	12	5	2	31	7	19	3	31	25	27	28
V	11	1	12	13	53	4	349	18	106	38	125	213
Th	11	11	10	10	7	15	4	6	20	8	2	14
Y	61	66	64	78	-	65	55	66	61	142	43	26



Tab. 2: Ergebnisse der Haupt- und Spurenelementanalysen der Proben aus Vorau.

Proben Nr.	PR-LV-15	PR-LV-16	PR-LV-17	PR-LV-18	PR-LV-19	PR-LV-20	PR-LV-21
Gestein	Ortho- gneis	Qz-Mu- Leuko	Qz-Mu- Leuko	Qz-Mu- Leuko	Qz-Chl-Mu- Leuko	alter, Paragneis	alter, Paragneis
Si O <sub>2</sub>	73,32	73,12	73,98	73,85	64,98	61,12	70,51
Ti O <sub>2</sub>	0,26	0,23	0,20	0,24	0,50	0,75	0,40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,20	14,59	14,49	14,08	19,25	20,89	16,77
FeO	1,64	0,48	0,38	0,47	1,82	3,80	2,51
MnO	0,05	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,04
MgO	0,49	4,79	4,71	4,78	3,78	2,45	1,15
CaO	1,39	0,00	0,00	0,02	0,17	0,56	1,21
Na <sub>2</sub> O	4,43	0,20	0,21	0,23	0,34	0,41	1,06
K <sub>2</sub> O	2,08	3,12	2,92	3,01	5,01	5,84	3,99
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,11	0,09	0,08	0,10	0,19	0,20	0,23
GV	1,22	3,37	3,36	3,35	3,80	3,76	2,59
total	100,19	99,99	100,33	100,13	99,85	99,82	100,46
Ba	266	50	10	33	242	334	262
Cr	5	10	5	6	37	67	28
Nb	13	11	10	10	15	19	12
Ni	9	2	2	5	10	17	5
Pb.	21	15	14	9	9	19	12
Rb	75	96	87	90	176	214	164
Sc	4,0	3,5	3,4	3,5	5,6	8,4	4,5
Sr	255	<5	<5	<5	13	33	54
Th	10	8	10	10	11	16	11
U	5,1	1,8	2,7	2,5	3,0	11,13	6,9
V	8	12	6	10	40	77	28
Y	14,2	12,5	20,2	19,8	10,9	17,4	12,0
Zn	32	16	11	14	46	62	45
Zr	110	73	63	72	101	150	101
La	23,4	21,4	22,4	25,3	25,6	42,5	32,9
Ce	43	38	44	46	58	83	62
Nd	17	15	16	17	17	34	27
Sm	3,0	2,6	3,0	3,1	3,7	6,3	5,0
Eu	0,6	0,3	0,3	0,4	0,3	1,7	1,0
Tb	< 0,5	0,6	< 0,5	< 0,5	0,6	< 0,5	< 0,5
Yb	1,4	1,5	1,5	1,3	1,0	1,5	0,9
Lu	0,20	0,20	0,23	0,18	0,16	0,20	0,13

Tab. 3: Ergebnisse der Haupt- und Spurenelementanalysen der Proben von den Tauerngoldgängen Rauris/Gastein.

Probe	PR-TG-2	PR-TG-4	PR-TG-8	PR-TG-9
Gestein	alterierter Gneis	alterierter Gneis	Orthogneis	alterierter Gneis
Si O <sub>2</sub>	69,70	70,15	69,83	73,53
Ti O <sub>2</sub>	0,13	0,14	0,14	0,11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,72	16,71	15,12	13,29
Fe O	1,78	2,53	1,87	3,32
MnO	0,00	0,00	0,01	0,00
MgO	0,42	0,61	0,55	0,44
Ca O	0,07	0,00	1,79	0,23
Na <sub>2</sub> O	0,03	0,05	3,65	0,04
K <sub>2</sub> O	5,80	5,08	2,88	3,81
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,07	0,03	0,07	0,02
G V	3,42	3,65	2,38	4,33
total	99,14	98,95	98,74	99,12
As	110	2400	2	370
Au (ppb)	< 5	46	19	3100
Ba	511	729	1480	409
Cr	14	20	15	25
Nb	10	10	9	10
Ni	13	7	< 5	15
Pb	39	172	29	178
Rb	379	310	126	316
Sb	2,0	4,2	0,3	1,5
Sc	11,8	5,1	1,3	27,7
Sr	18	22	694	20
Th	61	31	33	30
U	4,7	3,3	13,3	3,5
V	54	54	50	42
Y	7,2	6,9	11,6	14,0
Zn	30	19	46	110
Zr	117	110	170	100
La	30,5	24,1	33,8	17,9
Ce	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Nd	18	14	18	11
Sm	3,6	2,7	3,8	1,8
Eu	0,8	1,0	0,9	0,4
Tb	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Yb	0,3	0,8	0,5	0,2
Lu	0,06	0,05	< 0,05	< 0,05

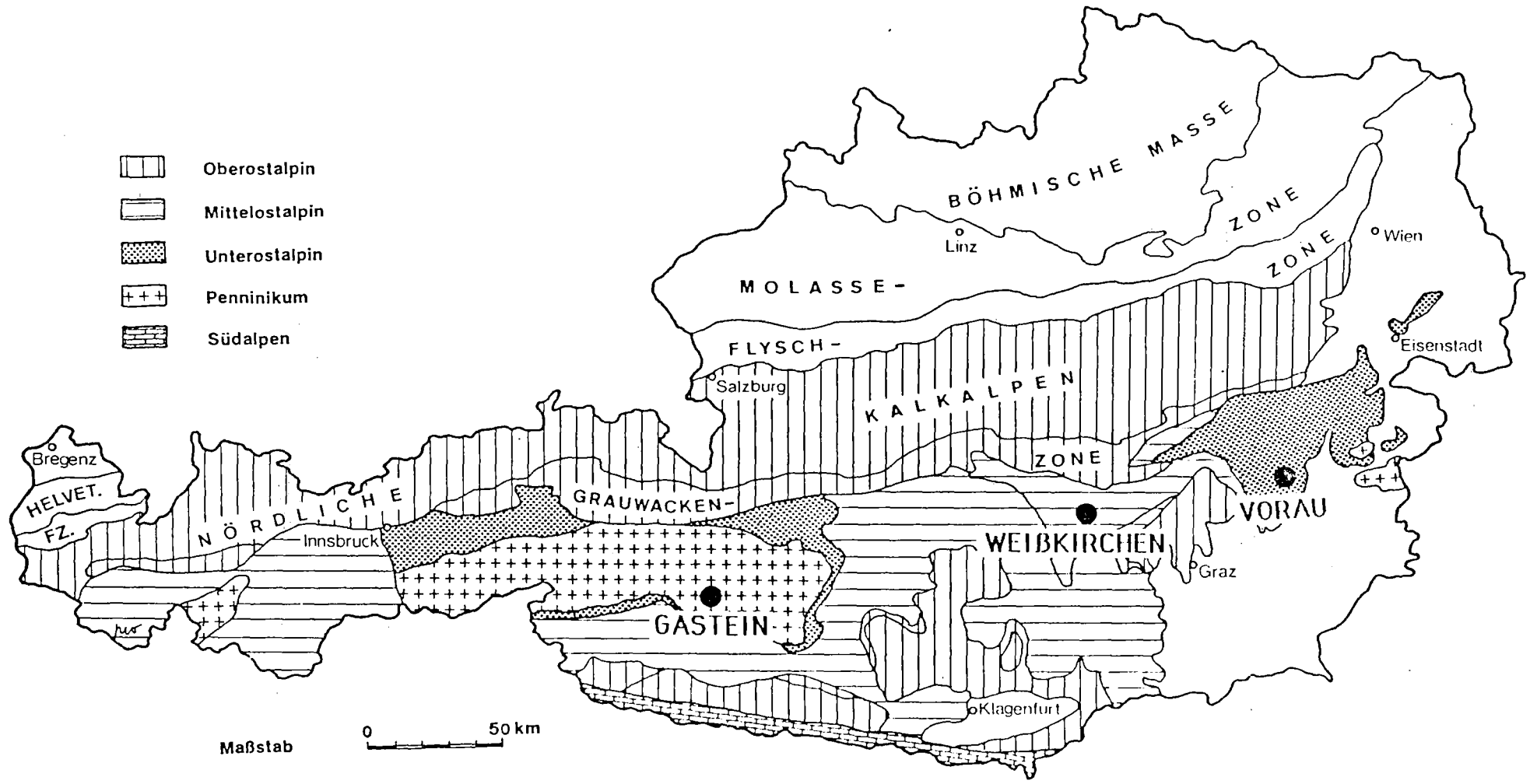


Abb. 1: Geologische Kartenskizze von Österreich mit den Untersuchungsgebieten.

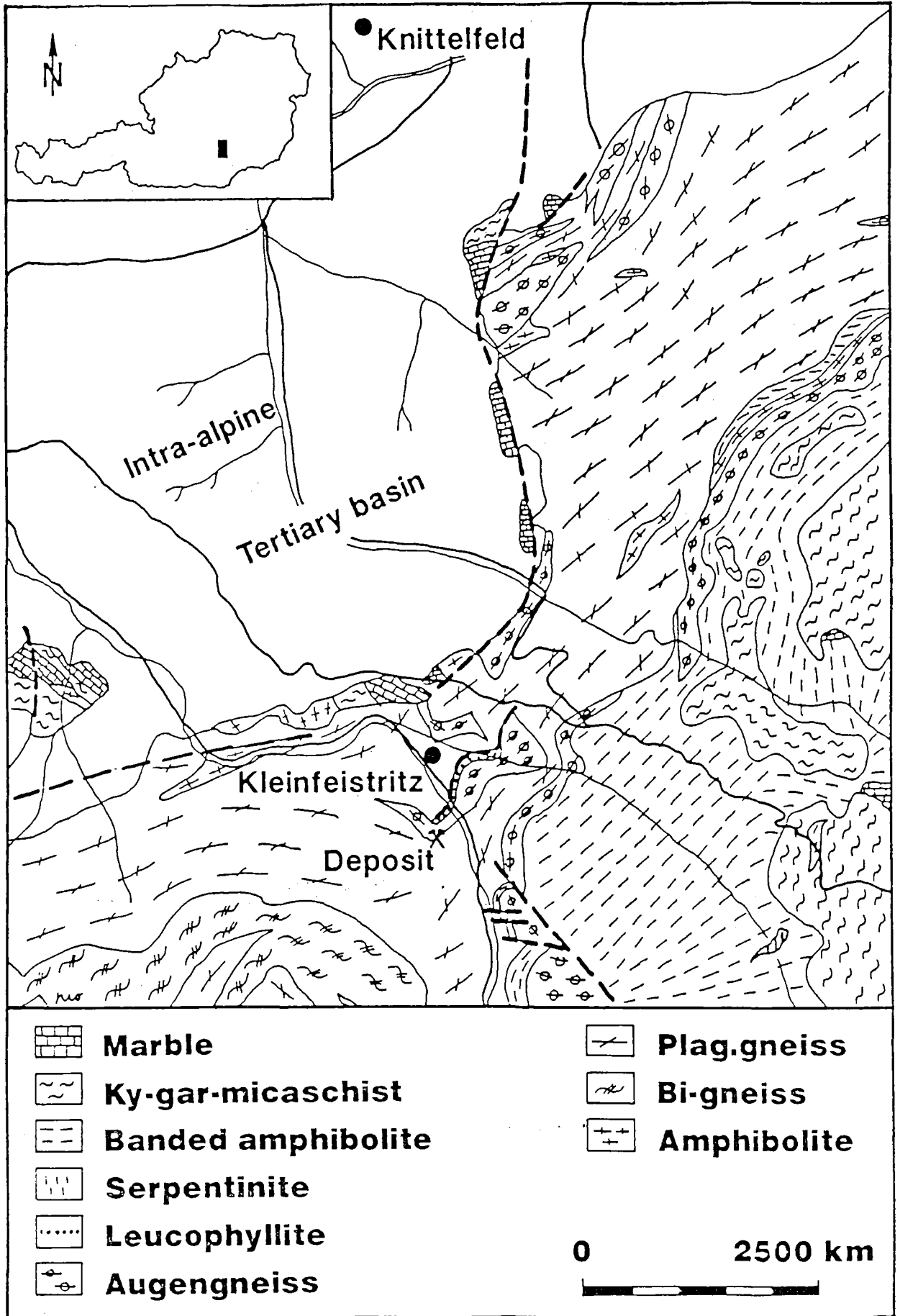


Abb. 2: Geologische Kartenskizze der Umgebung der Leucophyllitlagerstätte Weißkirchen.

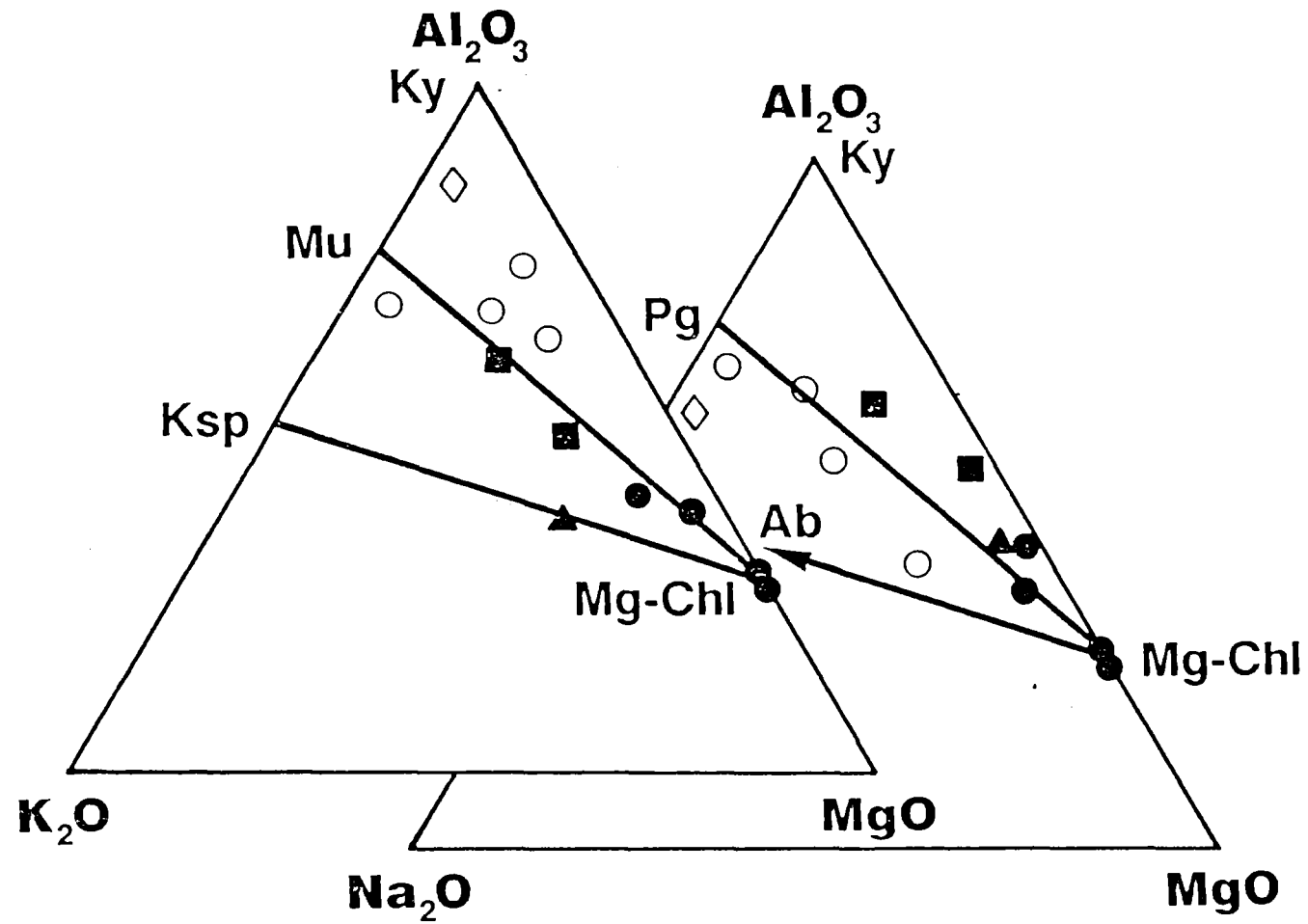


Abb. 3: Zusammensetzung der analysierten Proben im  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{MgO}$ - $\text{K}_2\text{O}$  bzw.  $\text{Na}_2\text{O}$ - $\text{MgO}$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Diagramm. Mit zunehmender Alteration nähert sich die Zusammensetzung dem Chlorit-Projektionspunkt. Legende siehe Tab. 1.

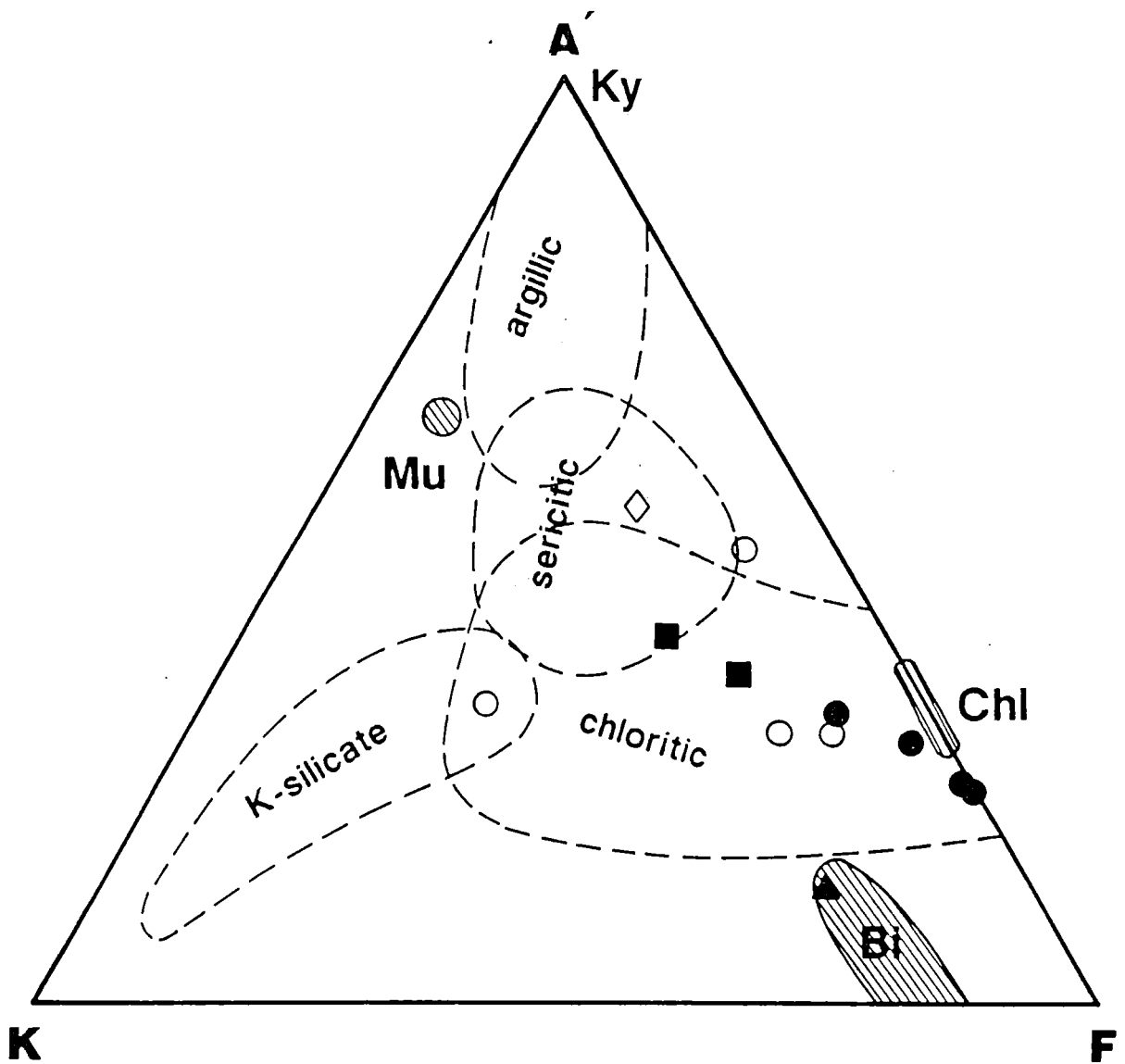


Abb. 4: A'KF-Diagramm für die analysierten Proben. Der Alterationsstil bei der Leukophyllitbildung entspricht einer Serizitisierung bzw. in einem fortgeschrittenem Stadium einer Chloritisierung. Legende siehe Tab. 1.

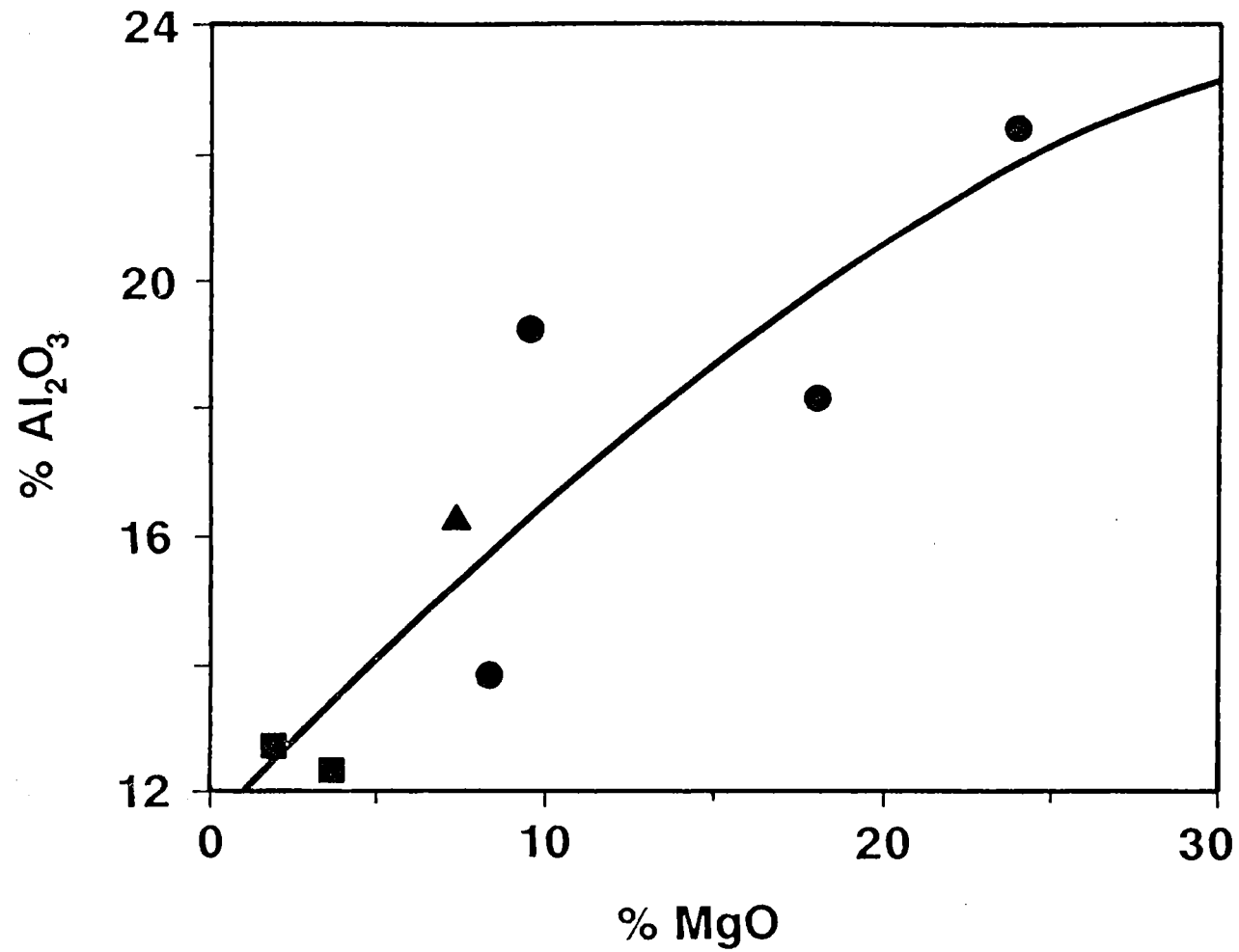


Abb. 5: Die positive Korrelation von Mg und Al spricht für eine relative Anreicherung dieser beiden an sich nicht leicht mobilisierbaren Elemente. Legende siehe Tab. 1.

## REE DISTRIBUTION IN COUNTRY-ROCK

### GNEISSES OF THE WEISSKIRCHEN DEPOSIT (EASTERN ALPS)

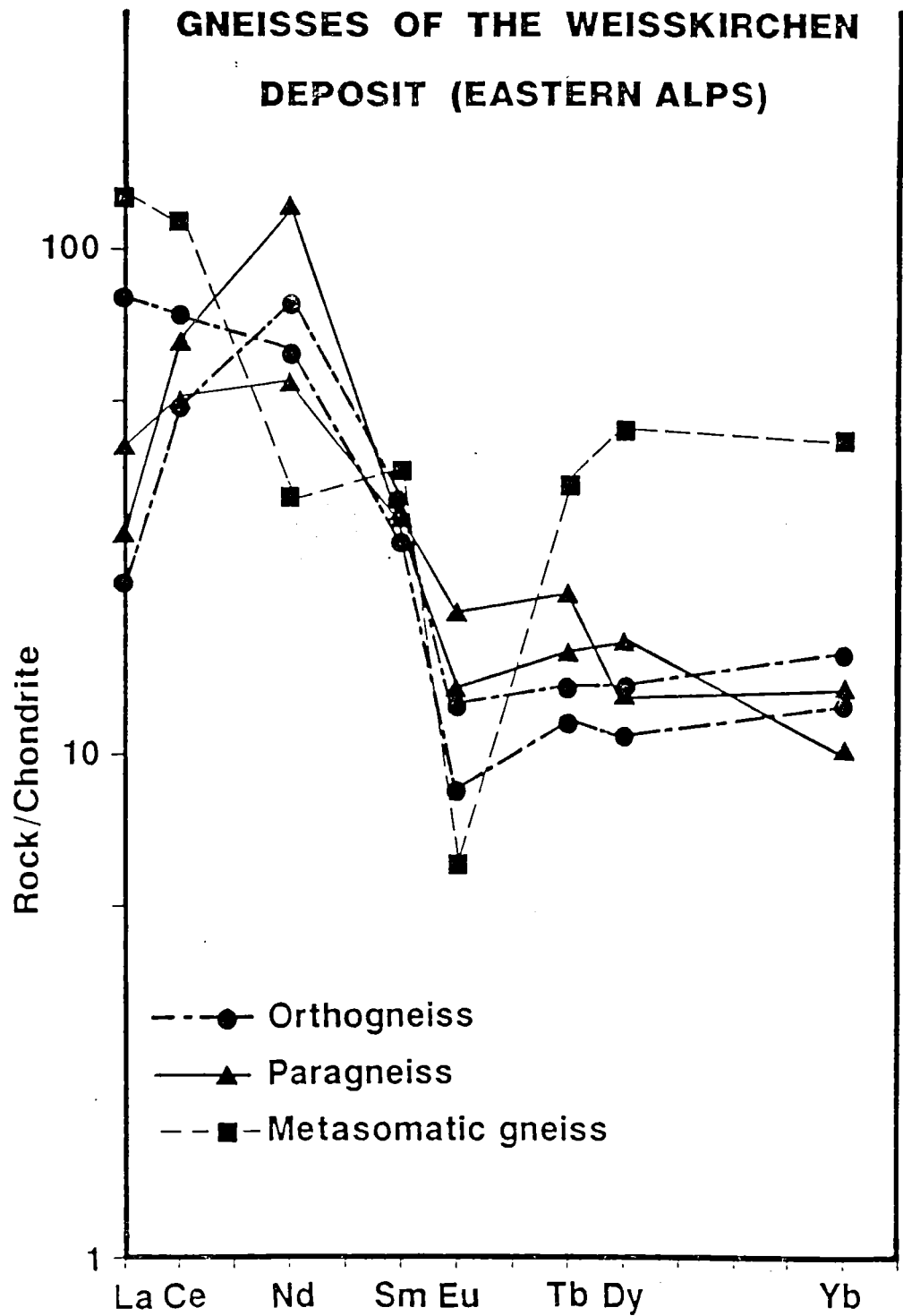


Abb. 6a: Chondrit-normierte SEE-Analysen der unveränderten Nebengesteine der Leukophyllitlagerstätte. Charakteristisch sind eine steile Verteilung der LSEE und ein flacher Verlauf der SSEE. Es ist keine nennenswerte Eu-Anomalie vorhanden, die Gehalte der SSEE sind generell niedrig. Legende siehe Tab. 1.



**REE OF THE LEUCOPHYLLITES  
OF THE WEISSKIRCHEN DEPOSIT**

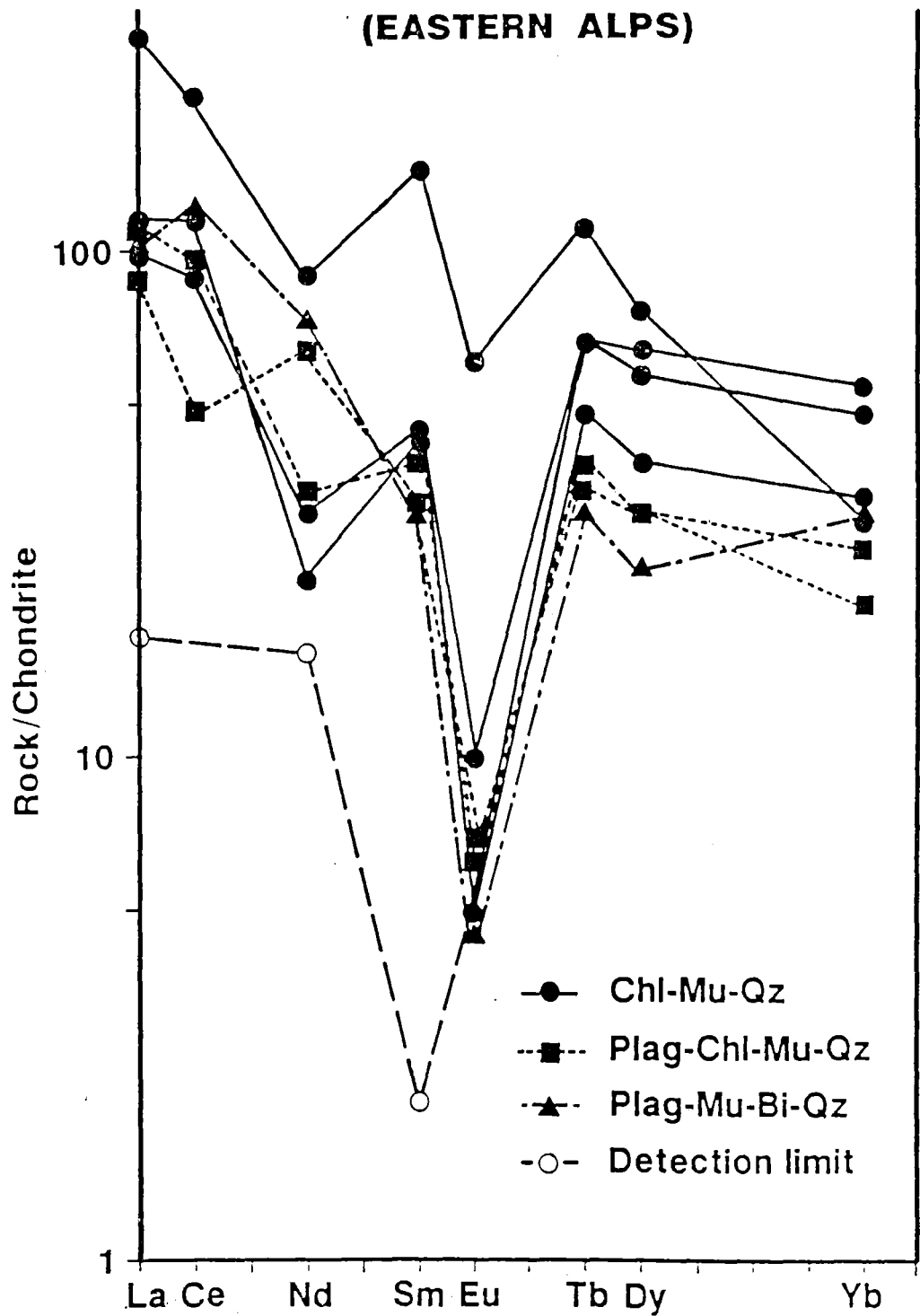


Abb. 6b: Chondrit-normierte SEE-Analysen der Leucophyllite. Im Gegensatz zu den Nebengesteinen tritt hier eine deutliche negative Eu-Anomalie auf und die Gehalte an SSEE sind 3- bis 5-fach erhöht. Legende siehe Tab. 1.