

Archiv für Lagerstättenforschung in den Ostalpen	Sonderband 2 Festschrift O. M. FRIEDRICH	189—213	Leoben 1974
--	--	---------	-------------

## Entstehung und Zusammensetzung der Leukophyllite (Weißschiefer) in den Ostalpen

Von Mansour MODJTAHEDI (Tabriz, Iran) und Hans WIESENER (Wien)

Diese, Herrn Prof. Dr. O. M. FRIEDRICH zur Vollendung des 70. Lebensjahres gewidmete Arbeit, wurde im Rahmen des Internationalen geodynamischen Projektes (Geotraverse Ost) durchgeführt.

### Zusammenfassung

Leukophyllite sind Chlorit-Muskovit-Quarzschiefer, die gelegentlich auch Disthen enthalten. Die Chlorite sind eisenarm bis eisenfrei. Die eisenfreien Chlorite sind als Leuchtenbergite zu bezeichnen. Im Gelände sind Leukophyllite fast ausschließlich mit Gneisen assoziiert und an stark durchbewegte Zonen gebunden. Aus den chemischen Untersuchungen geht hervor, daß zur Leukophyllitbildung aus Gneisen  $Mg^{2+}$ ,  $Si^{4+}$ ,  $(OH)^-$ -Zufuhr und  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Ti^{4+}$  und  $Ca^{2+}$  Wegfuhr notwendig ist. Der  $Al^{3+}$  Gehalt bleibt fast konstant. Die Muskovite im Leukophyllit sind aus Kalifeldspäten und aus den Anorthitanteilen der Plagioklase entstanden. Die Umwandlung von Anorthit zu Muskovit braucht Kalium; dieses wird aus den Kalifeldspäten frei, die in Muskovit umgewandelt werden. Die Chlorite entstehen aus den Glimmern unter Magnesium-Zufuhr. Bei allen diesen Prozessen ist der Wasserdampfdruck hoch. Die Herkunft des Magnesium dürfte auf die Serpentinisierung von Ultramaftiten in der Tiefe zurückzuführen sein. Unter Berücksichtigung der Diagramme von FAWCETT und YODER (1961—62) und von SEKI und KENNEDY (1964), entsteht Chlorit-Muskovit-Quarzschiefer bei 2 kb  $P_{H_2O}$  und 450—500° C. Die Disthenquarzite sind wahrscheinlich aus Koalinsanden entstanden. Für diese Prozesse sind nach ALTHAUS (1969) mindestens 5 kb  $P_{H_2O}$  und 500° C notwendig.

## Summary

Leucophyllites are chlorite-muscovite quartz schists which contain occasionally kyanite. The chlorites (leuchtenbergites) have a low iron content or are iron free. According to the field studies leucophyllites are nearly exclusively associated with ortho-gneisses and bound to stressed zones. After chemical studies the formation of leucophyllites from gneisses needs a supply of  $Mg^{2+}$ ,  $Si^{4+}$ ,  $OH^-$  and a removal of  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Ti^{4+}$  and  $Ca^{2+}$ . The content of  $Al^{3+}$  is almost unchanged. The muscovites in the leucophyllites are derived from potassium feldspar and from the anorthite content of the plagioclases. Under the influence of  $Mg^{2+}$  supply the chlorites are formed from the micas.  $P_{H_2O}$  was high during this process. It is supposed, that the source of magnesium is the serpentinisation process of peridotites in deeper geological units during alpine revolution. With respect to the diagramms of FAWCETT and YODER (1961/62) and SEKI and KENNEDY (1964) the formation conditions of the chlorite-muscovite-quartz schists is 2 kb  $P_{H_2O}$  and 450—500° C. The kyanite quartzites are probably derived from kaolinite sands. For this metamorphic process we assume according to ALTHAUS (1969) a minimum pressure of 5 kb and a minimum temperature of 500° C.

## Einleitung

Der Name Leukophyllit stammt von STARKL (1883). Unter diesem Namen sind jene schimmernd weißen und gelblich weißen, bisweilen lichtgrün gefärbten Schiefer zu verstehen, welche schon ČZJZEK (1854), als häufige, schwache Einlagerungen an mehreren Stellen des Rosaliengebirges als Talkschiefer erwähnte.

Nach STARKL haben sich mehrere Autoren mit Leukophylliten beschäftigt. Doch sind die Berichte lückenhaft und nicht frei von Widersprüchen. Das Ziel der vorgelegten Arbeit ist die Klärung der Genese der Leukophyllite und ihres Zusammenhangs mit den Nebengesteinen. Das bekannteste Gebiet in Österreich, in dem Leukophyllite vorkommen, ist die Grobgnesserie der Oststeiermark und des benachbarten Niederösterreich. Die untersuchten Gesteine stammen hauptsächlich aus dem Semmering-Wechselgebiet, ferner wurden Leukophyllite aus den Hohen Tauern und von Kleinfeldstriz untersucht. Die in der Grobgnesserie vorkommenden disthenhaltigen Quarzite wurden ebenfalls untersucht, da sie ähnliche mineralogische Zusammensetzung aufweisen, wie die Leukophyllite.

### 1. Die petrologisch-geologischen Verhältnisse des Untersuchungsgebietes

sind von WIESENER (1961/1971) dargestellt und mit Kartenskizzen belegt. Wir beziehen hier uns im wesentlichen auf diese Ausführungen.

## 2. Literaturangaben über Leukophyllite (Weißschiefer)

Seit dem vorigen Jahrhundert existieren verschiedene Berichte über Leukophyllit (Weißschiefer). STARKL (1883) verwendete erstmals für die schimmernenden, weißen und außerordentlich feinblättrigen Gesteine den Namen Leukophyllit. SIGMUND (1937) bestimmte ein weißes, schuppiges Mineral aus dem Talkschiefer von Rabenwald als Leuchtenbergit. (1929) berichtet VENDL über Leukophyllite aus der Umgebung von Sopron. (1930) gab er einen Bericht über die erwähnten Gesteine. Leukophyllite kommen im obersten Teil der Gneisregion vor, die den tieferen Horizont der kristallinen Schiefer im Soproner Gebirge darstellt. Sie liegen bereits nahe an der Grenze der einen höheren Horizont vertretenden sich zum Glimmerschiefer hinneigenden Phyllitregion. Die Leukophyllite treten in Gestalt einer kleineren Linse von maximal 2,7 m Mächtigkeit auf. Nach VENDL besteht das Gestein aus Quarz, Muskovit, leuchtenbergitischem Chlorit und Apatit. Hin und wieder findet man kleine Häufchen ganz winziger und deshalb unbestimmbarer Mineralkörner im mikroskopischen Bilde. VENDEL (1972) gibt für die Leukophyllitbildung eine Temperatur von 550° C bei einem  $P_{H_2O}$  von mindestens 5 kb an. Nach VENDEL sind Hangend und Liegend der Leukophyllite feinkörniger, muskovitführender Gneis. (1961) haben BOROVIČZENY und ALKER über das Leukophyllitvorkommen von Kleinfeldstritz bei Weißkirchen (Steiermark) berichtet. Sie unterscheiden zwei Arten von Leukophylliten, nämlich einen chloritreichen einen muskovitreichen Typ. Der chloritreichere Typ besteht aus Chlorit (Leuchtenbergit), Quarz, Apatit, opaken Mineralen und Akzessorien (Granat, Zirkon, Titanit). Der muskovitreichere Typ besteht aus Chlorit, Muskovit, Plagioklas, Quarz, Apatit, opaken Mineralen und Akzessorien. FUCHS (1962) glaubt, daß die weißschieferähnlichen Gesteine des Rosaliengebirges extrem geschieferte Produkte des Grobgneises sind. H. WIESENER (1971) stellte fest, daß in den Grobgneisen, besonders in den randnahen Positionen weiße phyllitische bis quarzphyllitische Gesteine geringmächtig eingeschaltet sind. Sie werden als Leukophyllite oder Weißschiefer bezeichnet. Die Komponenten dieser Gesteine sind Quarz, Muskovit, eisenarmer Chlorit (Leuchtenbergit), gelegentlich auch Turmalin und Mikroklin sowie albitreicher Plagioklas. Die Entstehung geht offensichtlich an Streßzonen vor sich, die einer jungen Phase der alpinen Bewegungen zugeordnet werden. Die erwähnten Gesteine sind keineswegs auf die Grobgneisserie beschränkt, sondern auch aus den Gneisgebieten der Hohen Tauern bekannt. Offensichtlich tritt bei relativ niedriger Temperatur (vielleicht 300° C) eine hydrothermal-metasomatisch bedingte Serizitisierung der Kalifeldspäte ein. Dies wurde auch experimentell von HEMLEY (1959) nachgewiesen. Durch Magnesiumzufuhr scheint die Bildung des Leuchtenbergits begünstigt zu werden, was von VENDL seit (1929) vertreten wird.

SCHWINNER (1932, 1935) teilte die leukophyllitischen Gesteine der Umgebung von Birkfeld in zwei Gruppen. Die erste besteht vorwiegend aus Quarz und Muskovit, weiters ist für sie der Leuchtenbergitmangel kenn-

zeichnend. Zur zweiten Gruppe rechnet er alle, die Leuchtenbergit bzw. Talk enthalten. Hierher gehören auch Leuchtenbergit führende Quarzite. Aus den Zentralgneisen des Granatzpitzenkern des Großglockners beschrieb CORNELIUS (1939) Weißschiefer, Muskovitschiefer (manchmal auch Leuchtenbergit führend). Die Weißschiefer treten in diesem Gebiet gehäuft im Randbereich der Zentralgneise auf, und Übergänge verbinden sie mit dem Gneis. Nach CORNELIUS gleichen die Muskovitschiefer des Großglocknergebietes weitgehend den Leukophylliten bzw. Weißschiefern des Alpenostrandes. FRIEDRICH (1947) berichtet über Weißstein (Kornstein) im Rabenwald. Die Haupttypen dieser Gesteine sind den Leukophylliten ähnlich, die von VENDL im Soproner Gebirge untersucht wurden. Weiters konnte FRIEDRICH feststellen, daß in manchen Kornsteinen Leuchtenbergit in so reichem Maße vorkommt, so daß richtige Leuchtenbergitschiefer entstehen. Kommt im Kornstein Leuchtenbergit in größeren Mengen vor, was im Talkgebiet fast immer der Fall ist, so tritt auch Disthen reichlich auf. Es kommt vor, daß sich dann beide Minerale zu richtigen Leuchtenbergitdisthenschiefen anreichern. WIEDEN und HAMILTON (1952) untersuchten die Weißerde von Aspang und bewiesen, daß es sich um reine Serizitschiefer handelt. Nach EXNER (1964) kann man in den Hohen Tauern (Gebiet Gastein) Übergänge von Gneis zu Quarzmuskovitschiefern und Quarziten beobachten. Die Muskovitschiefer, die in den granitischen Augengneisen häufig anzutreffen sind, auch Weißschiefer genannt, sind aus besonders intensiv durchbewegten Lagen der Granitgneise entstanden und zwar durch Verglimmerung der Alkalifeldspäte mit teilweiser Abwanderung der Alkalien und des Aluminiums. Dieser Prozeß führte auch zur Bildung von Disthenporphyroblasten.

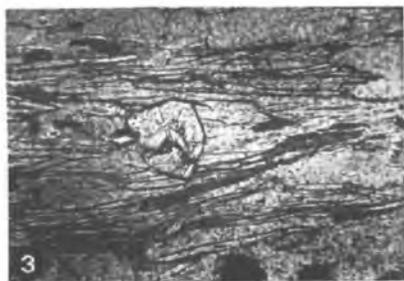
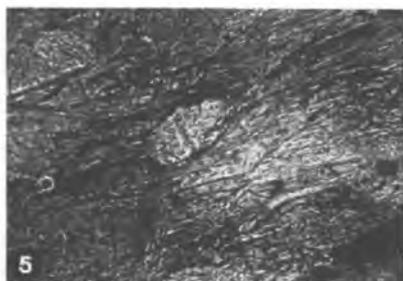
Proben wurden auch bei dem Staudamm Tauernmoosseen in den Hohen Tauern entnommen. Hier sind die Gesteine frisch. Neben den Zentralgneisen wurde Leukophyllit in einer Mächtigkeit von 15 bis 20 Meter gefunden. Dieses Gestein ist durch Übergänge mit dem Gneis verbunden. Muskovitgneis und Quarzmuskovitschiefer sind Übergangsglieder von Gneis zu Leukophyllit, sodaß die Leukophyllitbildung als jüngerer Vorgang anzusehen ist. Einige Meter lange Quarzgänge durchqueren den Leukophyllit und den Gneis und sind damit die jüngsten Bildungen. Kleinere grüne Chloritgänge wurden im Leukophyllit nachgewiesen.

### **3. Die Proben aus der Grobgnesserie (Oststeiermark-Niederösterreich)**

S1 — Grobgneis, St. Jakob

S2 — Chlorit-Serizit-Quarzschiefer (Leukophyllit im engeren Sinn), St. Jakob

S3 — Kornstein oder Chlorit-Serizit-Quarzschiefer (Leukophyllit), Rabenwald (Talklagerstätte)



- Fot. 1. Grobgneis, St. Jakob  
 Fot. 2. Leukophyllit, St. Jakob  
 Fot. 3. Kornstein mit Apatit,  
 Orthofer b. St. Jakob  
 Fot. 4. Disthen-Quarzit,  
 Schloffereck

Fot. 5. Chlorit-Serizitschiefer mit  
 Apatitrundling, Reingruberkogel

- S4 — Serizit-Disthen-Chlorit Quarzit (Disthenquarzit), Schloffereck
- S5 — Serizit-Chloritschiefer, Reingruberkogel
- S6 — Porphyroid, Aspang (Bergwerk)
- S7 — Kalkglimmerschiefer, Aspang (Bergwerk)
- S8 — Chlorit-Serizit-Talkschiefer, Rabenwald (Talklagerstätte)
- S9 — Disthen-Chlorit-Serizit-Quarzschiefer, Eckberg (Inhofel)

*Die Proben aus Hohen Tauern (Enzingerboden)*

- E1 — Gneis, Staudamm Tauernmoos
- E2 — Chlorit-Serizit-Quarzschiefer (Leukophyllit), Staudamm Tauernmoos
- E3 — Serizitgneis, Staudamm Tauernmoos
- E4 — Muskovit-Quarzschiefer, Staudamm Tauernmoos

*Die Proben aus Kleinfeldstritz (Leukophyllit Bergbau)*

- K1 — Gneis
- K2 — Leukophyllit

*Die Proben aus Sellrain (Tirol, bei Innsbruck)*

- T1 — Gneis
- T2 — Leukophyllit

**4. Megaskopische und mikroskopische Beschreibungen der untersuchten Proben**

- S1 — Grobgnais (St. Jakob)

Das Gestein ist weißgrau und grobkörnig mit stark bis schwach ausgebildetem Parallelggefüge. Megaskopisch kann man weiße Millimeter bis Zentimeter große Alkalifeldspäte erkennen. Seidig glänzende Serizitschüppchen und grau-grüne Chlorite sind netzartig um die großen hellen Gemengteile angeordnet. Die Quarze sind xenomorph ausgebildet. Sie sind unregelmäßig im Gesteinsgefüge verteilt und bilden größere zusammenhängende Partien. Stark undulöse Auslöschung, Verzahnung und Streckung der Quarzkörner deuten auf postkristalline Deformation hin.

Die Plagioklase sind hypidiomorph ausgebildet. Sie sind polysynthetisch verzwillingt. Die Zwillinglamellierung durchläuft den ganzen Kristall. Sie sind erfüllt mit hellen Glimmern und Klinozoisitmikrolithen. Das Verhältnis zu hellen Glimmern ist recht variabel. Bei manchen Körnern überwiegt Klinozoisit stark, bei anderen wieder der helle Glimmer. Im allgemeinen jedoch herrscht heller Glimmer vor. Durch Sammelkristallisation von hellen Glimmern haben sich größere Muskovitschuppen entwickelt, die im Plagioklas regellos eingeschlossen sind. Die Alkalifeldspäte kommen in xenomorphen bis hypidiomorphen Kristallen vor. Sie sind perthitisch entmisch. Meist liegt Faser- und Aderperthit vor. Bei manchen Kristallen laufen die Aderperthite schräg zu den Faserperthiten. Deutliche Mikroklitterung ist bei vielen Körnern zu beobachten. Die Alkalifeldspäte führen oft große hypidiomorphe (leistenförmige) einfach verzwillingte Plagioklaseinschlüsse. Die Alkalifeldspäte sind manchmal zerbrochen, die Klüfte mit feinem Quarz und Serizitmaterial gefüllt. Sie sind sehr stark serizitisiert, durch Sammelkristallisation bilden sich größere Muskovite. Der An-Gehalt der Plagioklase beträgt 15 bis 20 %.

Die Chlorite sind feinschuppig ausgebildet. Mittlere Korngröße beträgt 0,4 mm. Anomale Interferenzfarben treten auf. Hellgrüne Farbe und die höhere Lichtbrechung deuten auf eisenreichere Chlorite. Sie sind oft mit Muskovit nach (001) verwachsen. Klinozoisit tritt in Form von Mikrolithen in Plagioklasen auf. Durch Sammelkristallisation haben sich größere Kristalle entwickelt, die manchmal durch den ganzen Plagioklas durchgehen, Fot. 1. Sie sind farblos bis zitronengelb. Die Biotite sind feinschuppig ausgebildet, sie führen Sagenitgitter.

## S2 — Chlorit-Scrizit-Quarzschiefer (Leukophyllit), aus St. Jakob

Es handelt sich um ein extrem feinschiefriges Gestein. Die Schieferungsflächen sind mit seidig glänzenden Serizithäuten überzogen. Das Gestein zerfällt schuppig bis blättrig. Mit freiem Auge ist es schwer, die farblosen Chlorite von den Seriziten zu unterscheiden. Hauptgemengteile sind Quarz, Muskovit, Chlorit (Leuchtenbergit), untergeordnet sind noch im Gestein Apatit, Klinozoisit, Titanit, Albit, Granat, Zirkon und Erz vorhanden.

Die Quarze sind undulös auslöschend und haben verschiedene Korngröße. Die mittlere Korngröße beträgt 0,7 mm. Die Kristalle sind schwach im s eingeregelt. Die Quarzlagen mit Muskovit-Chloritlagen folgen im raschen Wechsel, so daß ein ausgezeichnetes Parallelgefüge entsteht, Fot. 2. Die hellen Glimmerschüppchen sind fast immer parallel zur (001)-Fläche verwachsen und bilden dünne Fläsern und Streifen, die parallel zu s den ganzen Schriff durchziehen. Sie sind schwach undulös. Oft sieht man eine schwache Biegung der Einzelschuppen. Die mittlere Korngröße der Serizite beträgt 0,08 mm. Es gibt auch größere Kristalle, die schräg zu s eingewachsen sind. Die farblosen Chlorite sind mit Seriziten parallel zur (001)-Fläche verwachsen. Die mittlere Korngröße der Chlorite beträgt 0,07 mm. Die Farbe und Lichtbrechung und graue Interferenzfarbe deuten auf eisenarme Chlorite hin.

Die Apatite sind oft zwischen Serizitschüppchen eingewachsen, sie sind hypidiomorph bis idiomorph und haben bei dem Wachstumsvorgang die Serizite zur Seite gedrängt und verborgen. Die Granate sind hypidiomorph bis idiomorph ausgebildet und regellos im Gestein verteilt. Sie sind farblos bis hellbraun und führen Einschlüsse. Albit ist selten und tritt in Form von Einzelkörnern im Quarzgrundgewebe auf. Die mittlere Korngröße beträgt 0,15 mm. Klinozoisit ist xenomorph ausgebildet und unregelmäßig im Dünnschliff verteilt. Die Farbe der 0,1 mm im Durchschnitt großen Körner ist gelblichbraun.

### S3 — Kornstein oder Chlorit-Serizit-Quarzschiefer (aus dem Bergbau Orthofer, Rabenwald)

Die Beschreibung der Kornsteine entspricht weitgehend der der Leukophyllite. Charakteristisch für die Kornsteine sind neu gebildete Apatite, die oft zwischen Serizitschüppchen, Fot. 3, vorkommen. Diese Apatite sind vom gesamten Gebiet von Rabenwald bekannt. Das untersuchte Gestein liegt unmittelbar neben Talkschiefer.

### S4 — Serizit-Disthen-Chloritquarzit (Disthenquarzit vom Schloffereck)

Das Gestein ist hart, schmutzig-weiß und splittrig brechend. Es ist durchwegs mittelkörnig und etwas schiefrig. An Querflächen sieht man kataklastisch zerdrückte Quarzkörner. Mit freiem Auge sind Disthenkristalle zu sehen. Sie sind regellos im Gestein verteilt. Die Hauptgemengteile sind Quarz, Chlorit, Disthen und Serizit, untergeordnet sind noch Erz, Titanit, Albit, Zirkon und Rutil vorhanden. Die mittlere Korngröße von Quarz beträgt 2,5 mm. Die Auslöschung ist wellig bis streifig. Die größeren Quarzkörner sind von kleineren umgeben. Die Minerale zeigen keine Orientierung. Wo die großen Quarzkörner zerbrochen sind, drängt sich Chlorit als Füllungsmaterial ein. Die farblosen Chloritschüppchen sind so dicht miteinander verwachsen, so daß man schwer die Einzelkörner erkennen kann. Sie sind meistens in Form wirrer Anhäufungen oder schwammartiger Verwachsungen um Disthenkristalle zu finden. Sie sind etwas im s eingeregelt. Selten findet man vereinzelte ganz feine Quarzkörnchen die von Chloritschüppchen eingeschlossen sind. Manchmal führen die Chlorite Erzeinschlüsse, sie sind vermutlich aus Biotit entstanden.

Die Disthenkristalle sind in Bruchstücke zerlegt. Die mittlere Korngröße beträgt 0,55 mm. In manchen Schliffen zeigt sich eine optische Orientierung. Die Disthene sind meist von Chloritschüppchen umgeben und die Kanten sind oft von Quarz und Chlorit verdrängt. Zwillingsbildungen sind selten. Manchmal treten sie auch als Garben oder radialstrahlige Aggregate auf, Fot. 4.

Ist in solchen Gesteinen reichlich Muskovit vorhanden, so tritt in der Regel der Disthen zurück. Albite sind im Quarzpflaster vereinzelt vorhanden. Sie sind unlamelliert und undulös auslöschend.

#### S5 — Chlorit-Serizitschiefer (Reingruberkogel)

Das Gestein ist grünlichgrau, extrem schiefrig, feinkörnig und schuppig bis blättrig brechend. Unter dem Mikroskop besteht das Gestein hauptsächlich aus Serizit und Chlorit. Die mittlere Korngröße der Chloritschüppchen beträgt 0,3 mm, sie sind im allgemeinen größer als Serizitschüppchen (0,2 mm). Die Chlorite führen manchmal Erzeinschlüsse, sie sind wahrscheinlich aus Biotit entstanden. Neu gebildete Apatitrundlinge sind manchmal zu beobachten. Fot. 5. Als Akzessorien sind im Gestein Granat, Zirkon, Titanit und Quarz vorhanden.

#### S6 — Porphyroid (Aspang, Kaolinwerk)

Das Gestein ist grünlichweiß, extrem schiefrig und kataklastisch deformiert. Größere Quarzkörner sind zwischen den Schichtmineralien zu beobachten. Das Gestein besteht hauptsächlich aus Quarz, Muskovit, Chlorit und aus serizitisierten Feldspäten. Die Feldspäte sind so mit Serizit erfüllt, daß man keine näheren optischen Daten bestimmen kann. Zwillingslamellierungen sind selten. Es gibt feinkörnige Quarze, die mit Serizitschüppchen die Grundgewebe bilden. Größere idiomorphe bis hypidiomorphe Quarze kommen vor, sie sind für Porphyroidgesteine charakteristisch. Die Serizitschüppchen sind dicht miteinander parallel zu s verwachsen. Sie sind manchmal undulös auslöschend. Die Chlorite haben höhere Lichtbrechung als Leuchtenbergite und außerdem sind sie etwas grünlich, sie enthalten also etwas Eisen. Untergeordnet sind im Gestein Turmalin, Erz, Apatit, Zirkon, Epidot und Titanit vorhanden.

#### S7 — Kalkglimmerschiefer (Aspang, Kaolinwerk)

Das Gestein ist dunkelgrau, schiefrig, feinkörnig und massig. Die Hauptgemengeteile sind Calcit, Serizit, Quarz; die Nebengemengeteile sind Alkalifeldspat, Plagioklas und Chlorit. Die Calcite sind optisch in s orientiert, die mittlere Korngröße beträgt 0,4 mm. Die Alkalifeldspäte sind stark serizitisiert. Manchmal sind nur noch die Relikte der Feldspäte zu sehen. Die Plagioklase sind auch stark serizitisiert, jedoch sind die Zwillingslamellierungen noch zu beobachten. Die feinkörnigen Erzkörnchen sind parallel zu s im ganzen Schliiff vorhanden.

#### S8 — Chlorit-Serizit-Talkschiefer (Rabenwald, Talklagerstätte)

Das Gestein ist hellgrau, schiefrig und feinkörnig. Makroskopisch sind feinkörnige Erze zu beobachten. Sie verursachen die graue Farbe dieses Gesteins, das als Talkschiefer abgebaut wird. Die Hauptgemengeteile sind Talk, Serizit und Chlorit. Auch sind als Akzessorien Epidot, Zirkon, Quarz, Apatit und Titanit vorhanden. Unter dem Mikroskop ist es schwer die Serizitschüppchen von Talkschüppchen zu unterscheiden. Durch Röntgendiffraktometeraufnahme wurden beide Minerale nachgewiesen. Die mittlere Korngröße der Schüppchen beträgt 0,2 mm.

## S9 — Disthen-Chlorit-Serizit-Quarzschiefer (Eckberg, Inhofel)

Die Unterschiede zwischen diesem Gestein und Leukophylliten bestehen darin, daß Disthenkristalle vorhanden sind und daß die Chlorite etwas grünlich erscheinen. Das Gestein ist kataklastisch deformiert und hat grünlichweiße Farbe. In einer Probe gibt es einen Zentimeter großen Turmalingang. Neben diesem Gang ist mehr Disthen vorhanden. Als Akzessorien sind Klinozoisit, Apatit, Zirkon, Erz, Albit und Titanit nachgewiesen.

## E1 — Gneis (Hohen Tauern, Staudamm Tauernmoos)

Das Gestein ist mittelkörnig und fast schiefrig. Die Hauptgemengteile sind Quarz, Alkalifeldspat, Plagioklas, Biotit und Muskovit. Die Quarze sind miteinander verzahnt und führen keine Einschlüsse. Die Alkalifeldspäte sind serizitisiert. Perthitische Entmischung, vor allem Aderperthiten sind vorhanden. Die Alkalifeldspäte führen manchmal Plagioklaseinschlüsse. Mengenmäßig überwiegen die Alkalifeldspäte. Plagioklase sind polysynthetisch verzwilligt. Sie sind gefüllt mit Klinozoisit- und Serizitmikrolithen. Der Anorthitgehalt beträgt 15 %. Untergeordnet sind Chlorit, Titanit, Apatit, Erz, Zirkon, Klinozoisit und Rutil vorhanden.

## E2 — Chlorit-Serizit-Quarzschiefer (Leukophyllit, Enzingerboden)

Das Gestein ist in mineralogischer und petrographischer Hinsicht dem Leukophyllit aus St. Jakob ganz ähnlich. Nur ist die mittlere Korngröße der Chlorit- und Serizitschüppchen dieses Gesteins einige Zehntelmillimeter größer als die der Leukophyllite aus St. Jakob. Außerdem gibt es weniger neugebildete Apatite.

## E3 — Serizitgneis (Enzingerboden)

Es handelt sich um ein bräunlich graues, schiefriges, massiges und mittelkörniges Gestein. Das Gestein besteht hauptsächlich aus Quarz, Serizit, Alkalifeldspat, Plagioklas und Biotit. Außerdem sind noch Granat, Epidot, Titanit, Apatit, Zirkon und Klinozoisit vorhanden. Die Quarze sind undulös auslöschend und oft in s orientiert; die mittlere Korngröße beträgt 0,5 mm. Die Alkalifeldspäte sind stark serizitisiert, doch sind perthitische Entmischungen und Mikroclin-Zwillingsgitterungen zu beobachten. Mittlere Korngröße der Alkalifeldspäte beträgt 1,0 mm. Die Plagioklase sind auch serizitisiert, der Anorthitgehalt beträgt 20 bis 25 %. Die Biotit- und Serizitschüppchen sind in s eingeregelt. Beachtlich ist das Fehlen von Chlorit im Serizitgneis, obwohl dieses Gestein als ein Übergangsglied von Gneis zu Leukophyllit betrachtet wird. Die Granate sind idiomorph bis hypidiomorph ausgebildet, ihre mittlere Korngröße beträgt 0,7 mm. Sie sind regellos im Gestein verteilt.

#### E4 — Serizit-Quarzschiefer (Enzingerboden)

Der einzige Unterschied dieses Gesteins verglichen mit Leukophyllit ist das Fehlen von Chlorit. Die Quarze sind auch hier undulös auslöschend, die mittlere Korngröße der Quarze ist etwas größer als im Leukophyllit (0,9 mm). Dieses Gestein liegt beim Staudamm Tauernmoos gangförmig zwischen Serizitgneisen E3. Die neugebildeten Apatite sind auch hier vorhanden. Die mittlere Korngröße der Serizitschüppchen ist ungefähr so groß wie im Leukophyllit (0,08 mm).

#### K1 — Gneis (Kleinfeldstritz, Leukophyllit-Bergbau)

Das Gestein ist hellgrau, mittelkörnig und schiefrig. Die Hauptgemengteile sind Plagioklas, Alkalifeldspat, Quarz, Serizit und Biotit. Die Plagioklase sind meistens gefüllt, und die Fülle besteht hauptsächlich aus Serizit- und Klinozoisitmikrolithen. Mengenmäßig sind die Serizitmikrolithen häufiger als Klinozoisit. Die Alkalifeldspäte sind stark serizitisiert. Durch Sammelkristallisation von Seriziten haben sich größere Muskovitblättchen entwickelt. Der Anorthitgehalt der Plagioklase beträgt 15 bis 20%. Die Quarze sind miteinander verzahnt und sind undulös auslöschend. Sie bilden zusammenhängende Partien. Die Serizit- und Biotitschüppchen sind meist in s eingeregelt. Die Biotite sind chloritisiert. Untergeordnet sind im Gestein Granat, Chlorit, Apatit, Klinozoisit, Erz und Zirkon vorhanden.

#### K2 — Leukophyllit (Kleinfeldstritz, Leukophyllit-Bergbau)

Es gibt drei Haupttypen von diesem Gestein. Der erste Typ besteht hauptsächlich aus Chlorit. Die chemische Analyse dieser Chlorite zeigt 11,90% ( $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ), sie sind also keine Leuchtenbergite, obwohl sie als solche in der Literatur beschrieben wurden. Untergeordnet sind Quarz Serizit, Disthen, Zirkon, Titanit, Apatit und Erz vorhanden. Das Gestein ist grünlichgrau und extrem schiefrig. Der zweite Typ dieser Gesteine ist ähnlich wie Leukophyllit aus St. Jakob. Der einzige Unterschied besteht darin, daß das Gestein Disthenkristalle enthält. Als Akzessorien sind Apatit, Epidot, Zirkon und Albit vorhanden. Der dritte Typ entspricht völlig den Leukophylliten aus St. Jakob. Übergänge zwischen den drei Typen sind vorhanden.

#### T1 — Gneis (Tirol, Sellrain)

Das Gestein ist hellgrau, massig, mittelkörnig und schiefrig. Die Hauptgemengteile sind Quarz, Alkalifeldspat, Plagioklas und Biotit. Die Alkalifeldspäte sind getrübt, die Trübung ist auf den Beginn der Serizitisierung zurückzuführen. Myrmekite sind relativ viel zu beobachten. Mengenmäßig sind die Plagioklase seltener als die Alkalifeldspäte. Die Plagioklase sind getrübt durch die beginnende Serizitisierung. Die Zwillingslamellierungen sind trotzdem zu beobach-

ten. Die Quarze sind nicht undulös auslöschend, man kann daher annehmen, daß diese Gesteine nicht stark mechanisch beansprucht wurden. Diese Eigenschaft und die Trübung der Feldspäte sind die Unterscheidung dieser Gesteine von den anderen untersuchten Typen. Untergeordnet sind im Gestein Granat, Zirkon, Rutil, Epidot, Muskovit, Apatit vorhanden.

## T2 — Leukophyllit (Tirol, Sellrain)

Es handelt sich um ein grauweißes, schiefriiges Gestein. Das Gestein bricht schuppig bis eckig. Im allgemeinen ist es grobkörniger als Leukophyllit aus St. Jakob. Der große Unterschied zwischen diesem Gestein und Leukophyllit aus St. Jakob besteht darin, daß hier noch Relikte der ehemaligen Feldspäte vorhanden sind, das heißt die Feldspäte sind in situ zu feinen Serizitmikrolithen umgewandelt. Aus der Röntgendiffraktometeraufnahme dieses Gesteins wird viel Muskovit und kein Feldspat festgestellt. Die Quarz- und Chloritreflexe sind zu beobachten. Es ist anzunehmen, daß dieses Gestein durch hydrothermale Vorgänge aus dem benachbarten Gneis entstanden ist, daher ist es fraglich, ob man dieses Gestein Leukophyllit nennen kann. Untergeordnet sind noch Zirkon, Granat, Albit, Apatit und Klinoisit vorhanden.

## 5. Schwermineralanalysen der untersuchten Proben

Aus den mikroskopischen Dünnschliffuntersuchungen der Leukophyllite geht hervor, daß sie gelegentlich Disthen enthalten. Zur Klärung der Frage der quantitativen Verteilung des Disthen in Leukophyllit wurden Schwermineralanalysen durchgeführt.

In allen untersuchten Leukophylliten wurden Disthenkörner festgestellt. Charakteristisch für Leukophyllite ist ferner das Auftreten von Apatitrundlingen. Diese sind besonders reichlich in Kornsteinen vom Rabenwald zu beobachten (70 % des Schwermineralanteils). Idiomorphe Zirkonkristalle sind wie im Serizit-Chloritschiefer S5 oft zu beobachten. Erzminerale sind ungefähr 10 % vorhanden. Außerdem sind im Leukophyllit Granat (oft idiomorph), Epidot, Titanit und Klinoisit vorhanden. Die Schwermineralanalyse der Disthenquarzte ergibt mehr als 90 % Disthen. Apatit wurde im Disthenquarzit nicht beobachtet. Schwermineralanalysen von Grobgnais zeigen viel Granat (oft idiomorph) 30 %, Epidot 30 %, Erz 30 % und Apatit, Turmalin, Zirkon und Titanit.

Der Gneis des Enzinger Bodens (Tauern) zeigt eine ähnliche Schwermineralverteilung, wie die untersuchten Grobgnais. Der Serizit-Chloritschiefer des Reingruberkogels enthält relativ viel idiomorphen Zirkon und Apatit (80 %).

## 6. Optische Untersuchungen der Chlorite und Serizite

Von den Seriziten und Chloriten des Leukophyllits (St. Jakob) und des Chlorit-Serizitschiefers vom Reingruberkogel und dem Disthenquarzit (Schloffereck) wurden Lichtbrechung, Doppelbrechung und Achsenwinkel bestimmt.

Chlorite (Leukophyllite von St. Jakob und Disthen-Quarzite vom Schloffereck)

$$\begin{array}{ll} n_{\alpha} = 1,579 & \gamma - \alpha = 0,012 \text{ (direkt best.)} \\ n_{\beta} = 1,581 & 2 V_{\alpha} = 19,7^{\circ} \\ n_{\gamma} = 1,591 & \end{array}$$

Chlorite (Chlorit-Serizitschiefer vom Reingruberkogel)

$$\begin{array}{ll} n_{\alpha} = 1,591 & \gamma - \alpha = 0,010 \text{ (direkt best.)} \\ n_{\beta} = 1,598 & 2 V_{\alpha} = 20,1^{\circ} \\ n_{\gamma} = 1,602 & \end{array}$$

Serizite (Leukophyllit von St. Jakob und Disthen-Quarzite vom Schloffereck)

$$\begin{array}{ll} n_{\alpha} = 1,555 & \gamma - \alpha = 0,037 \text{ (direkt best.)} \\ n_{\beta} = 1,585 & 2 V_{\alpha} = 43,8^{\circ} \\ n_{\gamma} = 1,592 & \end{array}$$

## 7. Integrationsanalysen der Proben

Die Integrationsanalyse wurde mit Hilfe eines Zeiss'schen Integrationsokulars durchgeführt. Um durchschnittliche Werte zu bekommen, wurde die Zählung parallel und normal zur Schieferung durchgeführt.

Bei der Berechnung des spezifischen Gewichtes wurde Leuchtenbergit mit  $3\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{MgO} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , Muskovit mit  $\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , Disthen mit  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ , Mikroklin mit  $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$  und Albit mit  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$  in Rechnung gestellt.

### a) Leukophyllit aus St. Jakob (S<sub>2</sub>)

	Volums-%	Gewichts-%
Quarz	50,2	48,9
Muskovit	40,4	41,9
Chlorit	8,8	8,6
Rest	0,6	0,6
	<hr/> 100,0	<hr/> 100,0

Das spezifische Gewicht von Quarz wird mit 2,65, von Muskovit mit 2,82 und von Leuchtenbergit mit 2,67 in Rechnung gestellt.

b) *Serizit-Disthen-Chlorit-Quarzit (S<sub>4</sub>) aus Schloffereck*

	Volums-%	Gewichts-%
Quarz	58,6	56,1
Chlorit	18,3	17,1
Muskovit	8,3	8,5
Disthen	13,6	17,6
Rest	1,2	0,7
	<hr/> 100,0	<hr/> 100,0

Diese Untersuchung wurde an einem muskovitreicheren Disthen-Quarzit durchgeführt. Das spezifische Gewicht von Disthen wurde mit 3,60 angenommen.

c) *Kornstein von Rabenwald (S<sub>3</sub>)*

	Volums-%	Gewichts-%
Quarz	50,2	49,2
Muskovit	35,7	37,2
Chlorit	13,2	13,1
Rest	0,9	0,4
	<hr/> 100,0	<hr/> 100,0

d) *Grobgneis St. Jakob*

	Volums-%	Gewichts-%
Quarz	37,1	36,5
Alkalifeldspat	28,1	26,5
Plagioklas	6,5	6,4
Muskovit	20,0	20,9
Biotit	0,5	0,5
Chlorit + Apatit	0,6	0,6
Klinozoisit + Epidot	6,3	7,7
Rest	0,9	0,9
	<hr/> 100,0	<hr/> 100,0

Das spezifische Gewicht von Alkalifeldspäte wurde mit 2,54, von Plagioklas mit 2,63, von Biotit mit 2,8, von Epidot mit 3,3 und von Apatit mit 3,1 angenommen.

e) *Leukophyllit (Enzinger Boden) E2*

	Volums-%	Gewichts-%
Quarz	54,7	53,7
Muskovit	33,4	34,9
Chlorit	11,6	11,3
Rest	0,3	0,1
	<hr/> 100,0	<hr/> 100,0

*j) Porphyroid (von Aspang) S6*

	Volums-%	Gewichts-%
Quarz	42,0	40,7
Muskovit	52,1	53,6
Chlorit	3,5	3,4
Plagioklas	1,2	1,2
Alkalifeldspäte	1,2	1,1
	100,0	100,0

*g) Gneis (Enzinger Boden) E1*

	Volums-%	Gewichts-%
Quarz	52,9	52,5
Muskovit	14,3	15,1
Chlorit	0,1	0,1
Plagioklas	3,0	3,0
Alkalifeldspat	19,6	18,6
Biotit	6,6	7,0
Rest	3,5	3,7
	100,0	100,0

*h) Muskovitgneis (Enzinger Boden) E3*

	Volums-%	Gewichts-%
Quarz	63,0	63,1
Muskovit	22,9	22,6
Alkalifeldspat	9,6	9,4
Plagioklase	1,4	1,4
Biotit	1,6	1,7
Rest	1,5	1,8
	100,0	100,0

## 8. Röntgenographische Untersuchungen

Von allen Proben wurde mit einem Gerät der Firma Philips mit  $\text{CuK}\alpha$ -Strahlung Röntgendiffraktometeraufnahmen durchgeführt. Es wurde versucht, durch eine Weißenbergaufnahme die Gitterkonstante des Chlorits eines Leukophyllites von St. Jakob zu bestimmen. Da kein Einkristall gefunden wurde, konnte man diesen Versuch nicht weiter verfolgen. Viele Chlorite werden prinzipiell an der Aufeinanderfolge der Basisreflexe diagnostiziert, besonders an  $d_{001}$  von 14,0—14,3 Å. Mit diesen starken, für viele Chlorite typischen 001-Linien ist jedoch keine nähere Bestimmung möglich. Alle Chlorite der untersuchten Proben wurden als 14-Å-Chlorite und alle Muskovite wurden als 2M1 Muskovite bestimmt. Im Chlorit-Serizitschiefer vom Reingruberkogel wurden keine Talk Peaks festgestellt, obwohl das Material dieses Steinbruches früher als „Talkschiefer“ abgebaut wurde. Im Leukophyllit selbst wurden außer Quarz-, Muskovit- und Chlorit-Peaks keine anderen Reflexe gefunden. Die Disthen-Peaks von Serizit-Disthen-Chlorit-Quarzit (Schloffereck) sind gut zu bestimmen, außerdem sind die Hauptreflexe der Feldspäte manchmal auch erkennbar.

## 9. Chemische Untersuchungen

### 9. 1 Analysengang

Um einen durchschnittlichen Wert von der chemischen Zusammensetzung der Gesteine zu bekommen, wurden von einem Gesteinstyp eines Aufschlusses verschiedene Proben zerkleinert, gemischt und pulverisiert. Von dem Probenmaterial wurden zwei bis drei Parallelanalysen durchgeführt und davon der Mittelwert der Analyse berechnet.

Tabelle 1  
Chemische Analysen der untersuchten Proben

	S <sub>2</sub> -Leukophyllit St. Jakob Gew.-%	S <sub>1</sub> -Grobgneis St. Jakob Gew.-%	E <sub>2</sub> -Leukophyllit Enzinger Boden Gew.-%	E <sub>1</sub> -Gneis Enzinger Boden Gew.-%	S <sub>3</sub> -Kornstein Rabenwald Gew.-%	S <sub>1</sub> -Disthen- Quarzit Schloßereck Gew.-%	S <sub>6</sub> -Porphyroid Alpang (Kao.linwerk) Gew.-%
SiO <sub>2</sub>	74.49	70.45	74.53	70.43	75.17	74.77	73.55
TiO <sub>2</sub>	sp.	0.20	sp.	0.22	sp.	sp.	sp.
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.80	13.78	14.56	14.83	14.29	15.60	14.95
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.57	1.70	0.31	1.25	0.40	1.51	1.85
FeO	sp.	0.15	sp.	0.60	sp.	sp.	0.30
MgO	2.05	0.70	2.44	0.55	3.34	4.17	0.74
CaO	0.51	0.73	0.269	1.04	0.66	—	0.29
MnO	—	—	—	—	—	—	—
K <sub>2</sub> O	3.98	5.41	3.84	5.55	3.32	2.12	4.25
Na <sub>2</sub> O	0.13	3.79	0.27	3.41	0.13	0.13	0.33
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	3.31	2.72	2.94	2.04	2.59	2.40	2.95
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0.37	0.23	0.52	0.25	0.23	0.11	0.38
	100.21	99.86	99.67	100.17	100.13	100.81	99.59

Tabelle 2  
Niggli-Werte

	al	fm	c	alk	si	k	mg
S <sub>1</sub> -Grobgneis	41,0	17,1	5,5	36,6	359,3	0,47	0,59
S <sub>2</sub> -Leukophyllit	56,4	22,9	3,6	17,0	482,5	0,96	0,87
S <sub>4</sub> -Disthenquarzit	50,9	40,9	0,0	8,2	4,1	0,91	0,84
S <sub>3</sub> -Kornstein	50,7	31,5	4,3	13,4	453,6	0,94	0,93
E <sub>1</sub> -Gneis	46,3	11,5	5,8	36,4	368,1	0,51	0,36
E <sub>2</sub> -Leukophyllit	55,6	25,4	1,1	17,8	485,2	0,90	0,93
S <sub>6</sub> -Porphyroid	60,0	17,2	2,0	20,7	501,6	0,89	0,42

### 9. 2 Chemische Analyse der Chlorite

In den Leukophylliten gibt es mehr Chlorit als im ursprünglichen Gneis. Aus den optischen Bestimmungen dieser Chlorite geht hervor, daß sie eisenfrei bis

eisenarm sind. Die chemischen Analysen dieser Chlorite geben Hinweise für die Genese der Leukophyllite. Die wichtigste Art der Leukophyllite sind Chlorit-Muskovit-Quarzschiefer. Aus optischen Untersuchungen geht hervor, daß die Chlorite der zuletzt genannten Gesteine kein Eisen enthalten. Naß-chemisch konnten diese Chlorite nicht analysiert werden, weil sie vom Muskovit nicht getrennt werden konnten.

Von den Chloriten der Chlorit-Muskovitschiefer des Reingruberkogels und den Chloriten der Chloritschiefer aus dem Leukophyllit-Bergbau aus Kleinfestritz wurden Analysen durchgeführt. Die Trennung der Chlorite von Muskovit erfolgte durch einen Magnetschneider. Durch Röntgendiffraktometeraufnahmen wurde die Reinheit der Chlorite geprüft. Die gesamten Alkalien, die im analysierten Chlorit vorhanden waren, wurden auf Muskovit umgerechnet. Nach „DEER, HOWIE und ZUSSMANN“ wurde dann die Zahl der Ionen im Chlorit ausgerechnet. Die Analysen sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Tabelle 3

Chloritanalyse vom Reingruberkogel			
	Gewichts-%	Zahl der Ionen	
SiO <sub>2</sub>	27,40	Si	5,167
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,26	Al	2,833
FeO + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,70		
MgO	24,39	Al	1,694
CaO	—	Fe <sup>2+</sup> *)	2,870
Na <sub>2</sub> O	0,02	Mg	7,540
K <sub>2</sub> O	0,54		
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	10,22	(OH)	
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,50		
	100,03		
			8,00
			12,10
			16,00

Chloritanalyse von Kleinfestritz			
	Gewichts-%	Zahl der Ionen	
SiO <sub>2</sub>	30,99	Si	5,991
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,36	Al	2,009
FeO + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,90		
MgO	30,46	Al	0,995
CaO	—	Fe <sup>2+</sup> *)	1,940
Na <sub>2</sub> O	0,02	Mg	9,110
K <sub>2</sub> O	0,45		
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	11,27	(OH)	
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,45		
	99,90		
			8,00
			12,04
			16,00

\*) Gesamtes Eisen auf Fe<sup>2+</sup> berechnet.

## 10. Vorkommen und Genese der Leukophyllite

### 10. 1 Vorkommen und Nomenklatur

Nach den vorliegenden Untersuchungen kommen Leukophyllite im Soproner-Gebirge, in der Oststeiermark und in den Hohen Tauern vor. Die Leukophyllite der genannten Gebiete sind an Zonen starker Durchbewegung gebunden und kommen als geringmächtige Einschaltungen in Gneisen und an der Grenze der Gneise zu den Nebengesteinen vor. Nach den Feldbeobachtungen gehen die Leukophyllite aus den Gneisen hervor. Betrachtet man den Zusammenhang des Baues der ostalpinen Zentralzone und dem Vorkommen der Leukophyllite, so ergibt sich, daß diese Gesteinsgruppe an die tieferen Elemente des alpinen Baues (Unterostalpin, Pennikum) gebunden sind, und im mittel- bzw. oberostalpinen Kristallin fehlen. Ähnliches wurde bereits von VENDL (1939) betont.

Es gibt verschiedene Arten von Leukophylliten. Um sie auseinanderzuhalten, werden sie nach ihren Hauptmineralien benannt, die Anordnung der Minerale erfolgt nach ihrer zunehmenden Häufigkeit. Die häufigste und wichtigste Art der Leukophyllite sind Chlorit-Serizit-Quarzschiefer, ferner treten Serizit-Quarz-Schiefer, Disthen-Chlorit-Serizit-Quarz-Schiefer, Disthen-Chlorit-Quarzschiefer und Chloritschiefer auf. Mit den Leukophylliten treten auch Disthen-Quarzite auf. Unter diesen gibt es solche, die keinen Serizit enthalten.

## 11. Die Genese der Leukophyllite

Wie die Geländebeobachtungen zeigen, gehen Gneise allmählich in Leukophyllit über. Leukophyllite sind feldspatfrei, aber reich an Muskovit. Es wird angenommen, daß die Alkalifeldspäte weitgehend in Muskovit umgewandelt wurden.

SEKI und KENNEDY (1964) haben die Stabilitätsgrenze im  $KAlSi_3O_8-H_2O$ -System untersucht. Bei niedrigem Druck und höherer Temperatur schmilzt Orthoklas zu Leucit und siliziumreicher Schmelze. Bei höherem  $P_{H_2O}$  schmilzt Orthoklas zu einer wasserreichen Schmelze, bei weiterer Druckerhöhung reagiert Wasser + Orthoklas zu Muskovit und Wasserdampf. Die Reaktion von Orthoklas mit Wasser bei hohem Druck (Muskovit wird gebildet) ergibt Fluida, die an Kalium und Silizium angereichert sind. Diese Fluida können aus einer abkühlenden Granitmasse entweichen und bei niedrigerer Temperatur und Druck (in einer Reaktion) wesentliche Mengen von Orthoklas oder Serizit in ihr Wirtsgestein einführen. HEMLEY (1959) hat experimentell an mineralogischen Gleichgewichten in dem System  $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$  gearbeitet. Der Druck der Lösung war 15 000 psi (2400 Bar).



litätsgrenze der Muskovit-Quarzassoziation um  $15^{\circ}\text{C}$  niedriger ist, als bei reinem Muskovit.

Das ist der Grund, weshalb Muskovit in der Quarz-Muskovitassoziation für nähere Temperaturbestimmungen nicht geeignet ist. Nach YODER und EUGSTER sind 2M-Polymorphe des Muskovits stabiler als 1M-Polymorphe. Der Übergang liegt bei 1kb zwischen  $200\text{--}350^{\circ}\text{C}$ . Außer in den Disthenquarziten ist manchmal auch in den Leukophylliten Disthen vorhanden.

ALTHAUS (1969) hat die Stabilitätsverhältnisse der Minerale Sillimanit, Andalusit und Disthen des Systems  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2\text{--H}_2\text{O}$  unter hydrostatischem Druck bis zu 12 000 bar ermittelt.

Nach diesem Autor liegt der Tripelpunkt bei  $6,5 \pm 1$  kb und  $595 \pm 10^{\circ}\text{C}$ . Nach ALTHAUS beträgt der Minimaldruck zur Bildung von Disthen, der sich in der Grünschieferfazies und der niedrig temperierten Amphibolitfazies bildet 5 kb. Wenn dieser Druck von 5 kb ausschließlich durch das Gewicht der darüber liegenden Gesteine aufgebaut werden sollte, würde das bedeuten, daß alle disthenführenden Gesteine in Tiefen von mindestens 15 km gebildet worden sind. In anderen Gebieten, in denen Disthen gefunden wird, geben die geologischen Beobachter jedoch eine wesentlich geringere Bedeckung mit Gesteinspaketen an. So errechnet z. B. HALLER (1962) für disthenführende Gesteine in Grönland eine maximale Bedeckung von 8—9 km, das entspricht etwa 2,5 kb Belastungsdruck. So geringer Druck reicht aber nach den experimentellen Untersuchungen wahrscheinlich nicht zur Disthenbildung aus. Wenn diese Berechnungen zuverlässig sind, dann muß außer dem Belastungsdruck auf die disthenführenden Gesteine noch ein zusätzlicher Druck ausgeübt worden sein. Zur Klärung dieses Überdruckes sind verschiedene Hypothesen aufgestellt worden, die je nach der Art des Vorkommens angewandt werden. RUTLAND (1965) vertritt die Ansicht, daß die relativ große Plastizität der normalen disthenhaltigen Gesteine die Entstehung von tektonischen Überdrücken praktisch vollständig verhindert. Sein wichtigstes Argument ist, daß sich Streß-Kräfte, die zur Ausbildung tektonischer Überdruck führen können in geologischen Zeiträumen wahrscheinlich völlig ausgleichen. Dem ist entgegenzuhalten, daß die Kristallisation von Disthen durchaus nicht geologischer Zeiträume bedarf, da sie ja auch im Laboratorium in Versuchszeiten von einigen Wochen beobachtet werden kann. Es reicht also aus, mit nur kurzzeitig wirksamen Überdrücken zu rechnen. In diesem Zusammenhang interessiert die Beobachter, daß Disthen häufig erst nach Beendigung der plastischen Deformation gebildet worden ist, also zu einem Zeitpunkt, in dem nach Ansicht der geologischen Bearbeiter der eigentlich zur Gebirgsbildung führende Schub schon aufgehört bzw. nachgelassen hatte.

Aus Geländebeobachtungen geht hervor, daß die Gneise allmählich in Leukophyllit übergehen, wobei die Muskovitgehalte zunehmen und die Feldspäte stärker serizitisiert werden. Das geht bis zu einem Stadium wo die Feldspäte vollkommen in Muskovit umgewandelt werden. Bei mikroskopischen Unter-

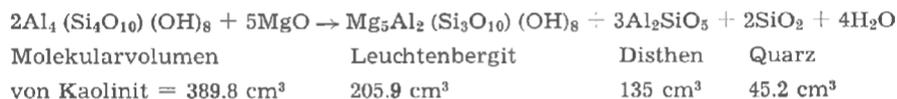
suchungen werden im Leukophyllit Magnesiumchlorite gefunden. Das Vorhandensein dieser macht die Vorstellung von der Umwandlung des Gneises zu Leukophyllit schwierig, da im Gneis nicht genug Magnesium vorhanden ist, daher ist eine Magnesiumzufuhr zur Leukophyllitbildung erforderlich.

Es ist bekannt, daß Metasomatose meist ohne Volumsveränderung vor sich geht. Es läßt sich zeigen, daß die Umwandlung von Gneis zu Leukophyllit ohne wesentliche Volumsänderung erfolgt.

Aus dem Vergleich der chemischen Analysen geht hervor, daß der Aluminiumgehalt in den Ausgangsgesteinen und in den Leukophylliten annähernd gleich ist. Bestimmte Kationen ( $Mg^{++}$ ,  $Si^{4+}$  und  $OH^-$ ) werden zugeführt, andere wie  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Ti^{4+}$  und  $Fe^{2+}$  dagegen abgeführt. Wie ersichtlich, ist für Leukophyllitbildung hauptsächlich  $Mg^{2+}$  und  $(OH)^-$ -Zufuhr und  $Na^+$ ,  $K^+$ -Abfuhr charakteristisch. Als Vergleich zu Leukophyllit wurde von Disthen-Quarzit ( $S_4$ ), Porphyroid ( $S_6$ ) und Kornstein ( $S_3$ ) die Barth'sche Standardzelle errechnet. Kornstein ist erwartungsgemäß wie Leukophyllit, enthält nur etwas mehr  $Mg^{2+}$ . Charakteristisch für Disthen-Quarzit sind weniger  $K^+$  und mehr  $Mg^{2+}$ . Porphyroide haben mehr  $Na^+$  und weniger  $Mg^{2+}$ .

Die Disthen-Quarzite unterscheiden sich makroskopisch und mikroskopisch von den Leukophylliten. Sie sind nicht extrem schiefrig, dunkler und grobkörniger als Leukophyllite. Außerdem sind millimetergroße Disthenkristalle zu sehen. Die Quarze sind viel größer als bei den Leukophylliten. Die Disthen-Quarzite haben weniger Serizit als die Leukophyllite. In ihrer regionalen Verbreitung sind die Disthenquarzite von den Gneisen unabhängig.

Sie können nach WIESENER (1968) aus Kaolinsanden entstanden sein. Nach VENDL (1972) wäre eine Direktumwandlung von Kaolinit zu Disthen wegen großer Volumsänderung nicht günstig. Da in Disthen-Quarziten auch Leuchtenbergit vorkommt, wäre eine Direktumwandlung von Kaolinit zu Disthen und Leuchtenbergit unter Mg-Zufuhr wegen Volumsausgleich beider günstiger. Die Reaktionsgleichung wäre dann:



Unter dem Mikroskop sieht man Chlorite mit Erzeinschlüssen. Sie sind offensichtlich aus Biotiten entstanden, die im Ausgangsgestein vorhanden waren. Die übrigen Chlorite sollten durch Magnesiumzufuhr entstanden sein. In Leukophylliten wurden Chlorite mit Erzeinschlüssen nicht gefunden.

Nach EUGSTER und WONES (1962) hängt der Stabilitätsbereich der Biotite sehr empfindlich vom Sauerstoffpartialdruck ab. Bei relativ hohem Sauerstoffdruck, liegt die Umwandlungstemperatur des Biotits bei 700° C, bei höherem Sauerstoffdruck bei 400° C. Nach YODER und EUGSTER (1954) steigt die Umwand-



Nach freundlicher mündlicher Mitteilung ungarischer Kollegen wurde in der Nähe Soprons eine Tiefbohrung in der Grobgnaisseuriederie niedergebracht, die eine Endteufe von 649 m erreicht. Angetroffen wurden mittelkörnige Gneise, Glimmerschiefer, phyllitische Glimmerschiefer und mehrere Lagen von Leukophylliten. Radiometrische Datierungen ergaben nach der K/Ar-Methode ein Alter von  $105 \pm 3.10^6$  Jahre, für den Gneis aber  $115 \pm 3.10^6$  Jahre. Diese Daten sprechen für die von uns vertretene Auffassung, daß die Metamorphose der jüngeren Gneise der Grobgnaisseuriederie und die Leukophyllitbildung altpaläozoisch sind.

Eine von SCHREYER (1974) auf Grund von Experimenten postulierte Hochdruck-, Weißschieferfazies“ (10 kb,  $t < 800-850^{\circ}$  C) kommt zur Erklärung der Leukophyllitbildung im Untersuchungsgebiet nicht in Frage. Sie würde einen bedeutenden tektonischen Überdruck erfordern, der aus gesteinsphysikalischen Gründen nicht in Betracht gezogen werden kann, zumal gezeigt wurde, daß die Weißschieferbildung in den Ostalpen ein Prozeß der metasomatischen Metamorphose ist, der im Labor nicht ohne weiteres simuliert werden kann.

## Literatur

- ALTHAUS, E. (1969): Das System  $Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ . Experimentelle Untersuchungen und Folgerungen für die Petrogenese der metamorphen Gesteine. N. Jb. Miner. Abh. 111—161, Stuttgart.
- BOWEN and TUTTLE, O. F. (1950): The system  $NaAlSi_3O_8-KaSi_3O_8-H_2O$ . Journ. Geol., 58, 489—511.
- BOROVICZENY, F. u. ALKER, A. (1961): Das Leukophyllitvorkommen von Kleinfestritz bei Weißkirchen, Steiermark — Joanneum, Min. Mitt. 37—43, Graz.
- CHINNER, G. A. (1966): The Significance of the Aluminium Silicates in Metamorphism Earth-Sci. Rev. 2, 111—126.
- CHRISTIE, O. H. J. (1962): Feldspar structure and the Equilibrium between Plagioklasse and Epidote. American Jour. of Sci. 260, 149—157.
- CLARK, S. P. Jr., E. C. ROBERTSON, F. BICH (1960): Experimental determination of Kyanite-Sillimanite equilibrium relations at high Temperatures and pressures. Amer. Jour. of Science 255, 628—640.
- CORNELIUS, H. P. (1935): Zur Deutung gefüllte Plagioklasse. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 25, 4—30.
- CORNELIUS, H. P. u. E. CLAR (1939): Geologie des Großglockner-Gebietes. Geologische Bundesanstalt, Wien (Kapitel Kanalspitzberg).
- CZJZEK, J. (1854): Das Rosaliengebirge und der Wechsel, Jahrb. d. k. k. geol. Reichsanst. 5, 465—528.
- EUGSTER, H. (1956): Muscovite-Paragonite join and its use as a geologic thermometer. Bull. Geol. Sci. Amer. 67, 1693.
- EUGSTER, H. P. und D. R. WONES (1962): Stability relations of the ferruginous biotite, annite, J. Petrol., 3, 82—125.
- EXNER, Ch. (1964): Erläuterung zur Geologischen Karte der Sonnblickgruppe. Geologische Bundesanstalt, 21—23.

- FAWCETT J. J. and YODER S. (1961—62): Quarz-Chlorit Assemblages in the system  $MgO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ . Annual Report Geoph. Lab., Washington 88—91.
- FAWCETT J. J. and YODER S. (1966): Phase Relationship of Chlorites in the system  $MgO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ . Amer. Min. 51, 353—380.
- FRIEDRICH O. (1947): Die Talklagerstätten des Rabenwaldes (Oststeiermark). Berg- und Hüttenmännische Monatshefte der Montanistischen Hochschule in Leoben, 92, 66—85.
- FUCHS G. (1962): Neue tektonische Untersuchungen im Rosalicengebirge. Jb. Geol. Bundesanstalt (Wien), 105, 19—35.
- HEMLEY, J. J. (1959): Some mineralogical equilibria in the system  $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ . Am. Journ. Sci. 257, New Haven, 241—270.
- HERITZSCH, H. (1967): Über die Bildungstemperatur der Talklagerstätten auf dem Rabenwald. Min. Mittbl. Joanneum, Heft 1, 2, 40—45, Graz.
- MARMO, V. (1955): On the Microcline of the granitic rocks of central Sierra Leone. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 35, 155—167.
- MATSUSHIMA SHOGO, KENNEDY C. G., JAGAMADHAM AKELIA, HAY-GARTH J. (1967): A study of equilibrium relations in the system  $Al_2O_3-SiO_2-H_2O$  and  $Al_2O_3-H_2O$ . Amer. Jour. Sci. 265, 28—44.
- PISTORUS, C. W. F. T., KENNEDY, G. C. and SONRIRAJAN, S. (1962): Some relations between the phases anorthite, zoisite and lawsonite at high temperatures and pressures. Amer. Jour. Sci. 260, 44—56.
- RICHARDSON S. W., BELL P. W., GILBERT M. C. (1968): Kyanite-Sillimanite equilibrium between 700° and 1500° C. Amer. Jour. Sci. 266, 513—541.
- RICHARDSON S. W., BELL P. W., GILBERT M. C. (1968): Experimental determination of kyanite-andalusite and andalusite-sillimanite equilibria: The aluminium silicate triple point. Amer. Jour. Sci. 267, 259—272.
- RICHARZ S. (1911): Die Umgebung von Aspang am Wechsel (Niederösterreich). Jahrb. d. k. k. Geol. Reichsanst. Wien, 41, 285—338.
- ROY R. and OSBORN E. F. (1954): The system of  $Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ . Amer. Min. 39, 853—855.
- ROY D. M. and ROY R. (1955): Synthesis and stability of minerals in the system  $MgO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ . Amer. Min. 40, 147—148.
- RUTLAND R. W. R. (1962): Feldspar structure and the equilibrium between Plagioklase and Epidote, Amer. Jour. of Sci. 260, 153—157.
- SCHALLER W. T. (1950): An interpretation of the composition of high-silica Sericites. Min. Mag. 29, 406—415.
- SCHLOERER H. (1962): Hydrothermal-synthetische gemeinsame Kristallisation von Orthoklas und Quarz. Radex Rundschau, 133—156, 177—193.
- SCHWINNER R. (1935): Zur Geologie von Birkfeld, Mitt. Naturw. Vereins f. Stm. 72, 67—100, Graz 1935.
- SCHWINNER R. (1932): Zur Geologie der Oststeiermark. Sitzber. Akad. d. Wiss., math.-naturw. Kl., 141, Wien, 319—358.
- SCHREYER, W. (1974): Weißschiefer, ein neuer Typ von Hochdruckmetamorphit und seine geologisch-petrologische Bedeutung. — Fortschritte der Mineralogie, 51, Bb. 1, 37—38.
- SEGNIT R. E. and KENNEDY G. C. (1961): Reactions and melting relations in the system muscovites-quartz at high pressure. Amer. Jour. Sci. 259, 280—287.
- SEGNIT R. E. (1963): Synthesis of clinocllore at high pressures. Amer. Min. 48, 1080—1089.
- SHIGEO A. and ROY R. (1963): A new polymorph of  $Al_2SiO_5$  and further studies in the system  $Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ . Amer. Min. 48, 1322—1347.
- SEKI Y. and KENNEDY G. (1965): Muscovite and its melting relations in the system  $KAlSi_3O_8-H_2O$ . Geochimica et Cosmochimica Acta 29, 1077—1083.
- SIGMUND, A. (1937): Die Minerale Niederösterreichs. 2. Aufl. Deuticke, Wien.

- SMITH J. v., und YODERS H. S., Jr. (1958): Experimental and theoretical studies of the mica polymorphs. *Min. Mag. and Journal* vol. XXXI, 209—236.
- STARKL G. (1883): Über neue Mineralvorkommnisse in Österreich. *Jahrb. d. k. k. Geol. Reichsanst.*, 33, Wien, 635—658.
- TURNOCK A. C. (1959—1960): The stability of Ion Chlorites. *Carnegie Inst. Washington, Ann. Rep. Dir. Geophys. Lab.* 59, 98—103.
- VENDL M. (1929): Die Geologie der Umgebung von Sopron. 1. Teil, die kristallinen Schiefer. Aus den Mitt. d. Berg- und Hüttenm. Abt. a. d. Kgl. Ungar., Hochschule f. Berg- und Forstwesen zu Sopron, Ungarn.
- VENDL, M. (1939): Ein Leucophyllit aus den Hohen Tauern und einiges über die Leucophyllitfrage. *Mitt. ungar. berg- u. hüttm. Abt. kgl. ungar. Galatin-Joseph Univ., Sopron*, XI., 1—5.
- VENDL M. und ROMWALTER A. (1930): Beiträge zur Kenntnis der Leucophyllite. *Mitteilungen der Berg- und Hüttenmännischen Abteilung an der Kgl. Ung. Hochschule für Berg- und Forstwesen zu Sopron, Ungarn*, 366—376.
- VENDEL M. (1972): „Über die Genese der Leucophyllite“ *Tscher. Min. Petr. Mitt.* 17, 76—100.
- WIEDEN P. und HAMILTON G. (1953): Die Weißerde von Aspang. *Tscherm. Min. Petr. Mitt.*, 3, 45—55.
- WIESENER H. (1961): Die Korund- und Spinellfelse der Oststeiermark als Reste einer Anatexis.-Joanneum *Min. Mitt.*, Graz, 1—30.
- WIESENER H. (1962): Die alpine Gesteinsmetamorphose am Alpenostrand. *Geol. Rdsch.*, 52, 238—246.
- WIESENER H. (1971): Gesteinsserie und Metamorphose im Ostabschnitt der österreichischen Zentralalpen. *Verh. Geol. B.-A.*, Heft 2, S. 344—357, Wien.
- YODER H. S. (1952): The  $MgO-Al_2O_3-SiO_2$  system and the related metamorphic facies. *Amer. J. Sci. Bowen* vol. 569—627.
- YODER H. S. and EUGSTER H. H. (1955): Synthetic and natural muscovites. *Geochim. Cosmochim. Acta* 8, 225—280.
- ZEN, E-An (1969): The stability of the polymorphs of aluminium silicate: A survey and some comments. *Amer. J. Sci.* 267, 297—309.

Anschrift der Verfasser: Dr. Mansour MODJTAHEDI  
Geological Department  
University of Tabriz, Iran

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Hans WIESENER  
Mineralogisch-Petrographisches Institut der Universität, Wien